

С.А. Жукова**ВЗАИМОСВЯЗЬ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ
С АКТИВИЗАЦИЕЙ СЕЙСМИЧНОСТИ
НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АПАТИТОВЫЙ ЦИРК
И ПЛАТО РАСВУМЧОРР**

Длительное техногенное воздействие на породный массив повлияло на геодинамическую обстановку исследуемого района. В последнее десятилетие начали происходить мощные сейсмические события, временные периоды которых приурочены к периодам наибольшей обводненности массива. В данной работе рассматриваются результаты анализа влияния природных факторов на изменение сейсмического режима.

Ключевые слова: сейсмичность, мониторинг, обводненность, техногенное землетрясение.

Введение

Важным фактором, влияющим на геодинамическую обстановку района, является длительное техногенное воздействие на породный массив. В результате добычи руд и наполнения хвостохранилищ значительно изменился рельеф поверхности, нарушены связи тектонических элементов, что привело к потере устойчивости системы блоков и высокому уровню сейсмичности в районе ведения горных работ. Мониторинг сейсмичности на подземных рудниках осуществляется автоматизированной системой контроля состояния массива (АСКСМ) Центра геофизического мониторинга (ЦГМ), способной регистрировать геодинамические явления с энергией $E > 10^2$ Дж, и точностью несколько метров.

Расвумчоррский и Центральный рудник разрабатывают единую апатито-нефелиновую залежь, разделенную на два месторождения: Апатитовый Цирк и Плато Расвумчорр.

За время мониторинга было установлено, что сейсмический режим контролируемых районов подземных рудников ОАО «Апатит» не стационарен, что обусловлено наличием

возмущающих факторов. Наиболее значимыми из них являются взрывные работы при отбойке руды на рудниках, а так же обводненность пород в периоды интенсивных дождей.

Влияние на состояние массива горных пород гидрогеологического фактора было выявлено ранее при эксплуатации многих месторождений. Месторождения Апатитовый Цирк и Плато Расвумчорр в Хибинском массиве расположены в зоне аэрации, которая характеризуется сезонным обводнением пород с вертикальным движением инфильтрационных вод глубиной от нескольких метров в долине до десятков метров на склонах и в зоне постоянного водонасыщения трещинно-напорными водами долины и трещинно-жильными водами тектонических нарушений в кристаллических породах.

Расвумчоррское плато (абс. отм. 1000–1050 м) превышает на 450–550 м окружающие цирки и глубоко врезанные долины р. Юкспорйок, руч. Безмянный и Кристальный. Сильно расчлененный рельеф и высокое гипсометрическое положение массива создают благоприятные ус-

ловия для дренирования коренных пород и четвертичных отложений, определяют глубокое залегание уровня поверхности трещинных вод и наличие мощной зоны аэрации.

Водовмещающими породами являются ийолит-уртиты, рисчорриты, уртиты, апатито-нефелиновые руды, в различной степени трещиноватые и содержащие трещинные и трещинно-жильные воды. Основными водопрводящими трещинами являются трещины, с которыми связана шпреуштейнизация кристаллических пород. Водовмещающие породы обладают низкими фильтрационными свойствами и характеризуются значениями коэффициента фильтрации от 0,003 до 0,86 м/сут., на участках сильно трещиноватых и обводненных пород и зон шпреуштейнизации коэффициент фильтрации значительно выше и составляет 2,5 м/сутки. Средний расчетный коэффициент -0,285 м/сут.

Питание водоносных комплексов происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков.

В результате многолетних техногенных воздействий произошло частичное разрушение заполнителя тектонических нарушений, что привело к изменению устойчивости Хибинского массива в целом. В последнее десятилетие начали происходить мощные сейсмические события, которые по данным регистрации совпадают с периодами наибольшей сезонной обводненности горных пород.

Метод исследования

Месторождения апатит-нефелиновых руд Хибинского массива Апатитовый Цирк и Плато Расвумчорр, отрабатываются рудниками ОАО «Апатит». Первое – подземным Расвумчоррским рудником, второе – карьером Центрального рудника. Рудники расположены в зоне активного взаимного влияния (выработки подземного руд-

ника – в бортах карьера и под дном, отвалы карьера – на поверхности над подземными выработками). Наибольшую нагрузку испытывает зона стыковки подземного рудника и карьера. Проявления горного давления фиксируются в этой зоне чаще, чем на других флангах шахтных полей.

В пределах месторождений выявлено несколько тектонических разломов, наиболее крупные из которых: наклонные разломы висячем и лежащем боках рудного тела – протяженный субвертикальный разлом в районе разрезов 0÷-2 и субвертикальный разлом в районе разрезов 6÷9. Массив зоны стыковки и район рудоспусков Центрального рудника характеризуется породами блочной структуры, причем трещины зачастую заполнены цеолитом.

Наличие разномасштабной трещиноватости обуславливает насыщение жидкостью горных пород. В зависимости от пористости и влагопроницаемости пород, слагающих отрабатываемое месторождение, сейсмическая реакция массива может быть различной.

Современные горные работы и действующие тектонические процессы приводят к перераспределению напряжений и накоплению потенциальной энергии, которая преобразуется в кинетическую, в виде геодинамических процессов (подвижки по ранее ослабленным тектоническим нарушениям и растрескивание массива).

Для выявления зависимости роста сейсмичности от увеличения количества осадков в районе месторождения Апатитовый Цирк был обработан массив данных с 2004 по 2012 гг.

С помощью программы Seismic Time System (STS) (подсистема обобщающего анализа ACKCM), производящей выборку из базы данных временных рядов, были найдены и проанализированы наиболее важные сейсмические события, такие как: массовые

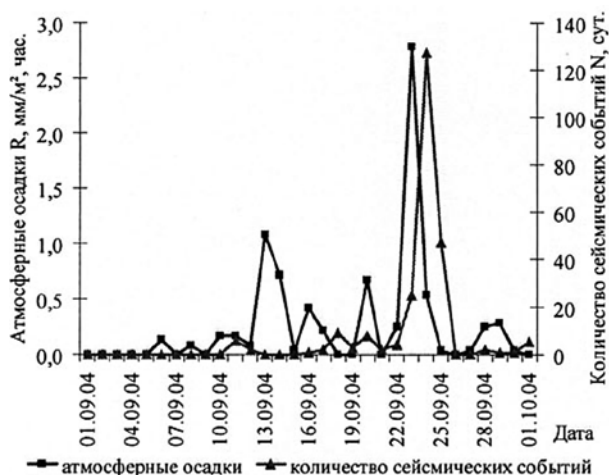


Рис. 1. Влияние атмосферных осадков на рост числа сейсмических событий

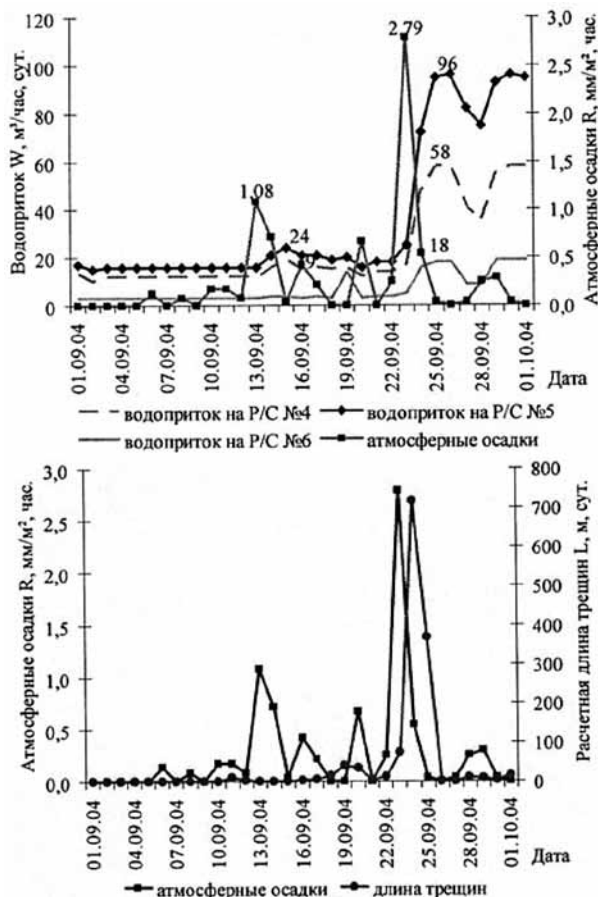


Рис. 2. Влияние атмосферных осадков на рост водопритока на рудоспусках и длину трещин

взрывы, естественные события и события за зоной регистрации, по времени и координатам несущие необходимую информацию для этой работы. Энергетический диапазон сейсмических событий в выборке составляет 10^3 – 10^9 Дж.

Проанализируем сейсмические и метеорологические данные применительно к техногенному землетрясению, произошедшему 25.09.2004 г. на месторождении Плато Расвумчорр: 23–24 сентября 2004 г. АСКСМ ЦГМ был зарегистрирован рост сейсмической активности в районе 6-го рудоспуска Центрального рудника. 24 сентября в 17:29 на Центральном руднике был произведен массовый взрыв, который послужил триггером для реализации большого сейсмического события. В 19:04:42 АСКСМ ЦГМ было зарегистрировано сейсмическое событие с энергией $E = 2,15 \cdot 10^9$ Дж (магнитуда 2,2 по данным Кольского регионального сейсмологического центра Геофизической службы Российской академии наук), которое сопровождалось длительной афтершоковой серией сейсмических событий. Данное событие ощущалось жителями города Кировска и поселка Кукисвумчорр. Ниже приводится пример анализа метеорологических и сейсмических данных, применительно к данному техногенному землетрясению.

С 1 по 10 сентября включительно обстановка была довольно стабильная (рис. 1): естественные события не зарегистрированы, осадки были 6, 8 и 10 сентября (за три дня – 0,38 мм/м² в час). С 10 по 17 сентября наблюдается увеличение количества осадков ($R_{\text{общ}} = 2,88$ мм/м² в час.) – каждый день метеостанцией был зарегистрирован дождь. Обводненность по трем рудопускам увеличилась (зафиксировано в журнале водопритоков Центрального рудника), количество сейсмических событий 11 сентября составило – 6 шт. с энергией $E = 10^3$ – 10^4 Дж, расчетная длина трещины равна 8,67 м (рис. 2).

23 сентября, было зарегистрировано наивысшее значение за месяц количество атмосферных осадков, оно составило – 2,79 мм/м за час. 24 сен-

тября 2004 г. в данном районе было зарегистрировано 127 сейсмических событий. На рис. 2 представлены графики изменения режима обводненности горных пород и расчетной длины трещины за месяц наблюдений.

Обводненность на рудопусках до 14 сентября была следующая: р/с № 4 – 12 м³/час, р/с № 5 – 16 м³/час, р/с № 6 – 3 м³/час. После 14 сентября наблюдается резкий рост обводненности: р/с № 4 – 16 м³/час, р/с № 5 – 21 м³/час, р/с № 6 – 4 м³/час. 19 сентября было зафиксировано 3 сейсмических события с энергией равной $1,68 \cdot 10^7$ Дж. Длина трещин, согласно расчетным данным, с 13,32 м изменилась до 39,44 м за сутки. 24 сентября этот параметр достигает 716,10 м (рис. 2). По обводненности рудопусков в этот день

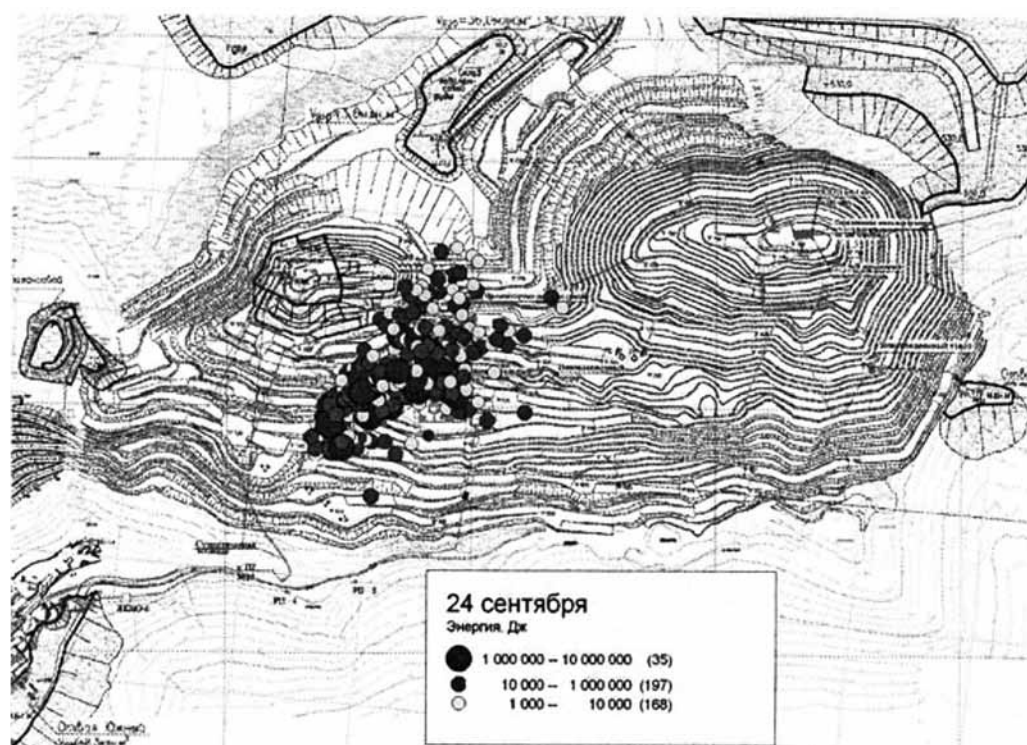


Рис. 3. Карта сейсмических событий, зарегистрированных 24.09.04 г. карьер Центрального рудника. В скобках указано количество событий

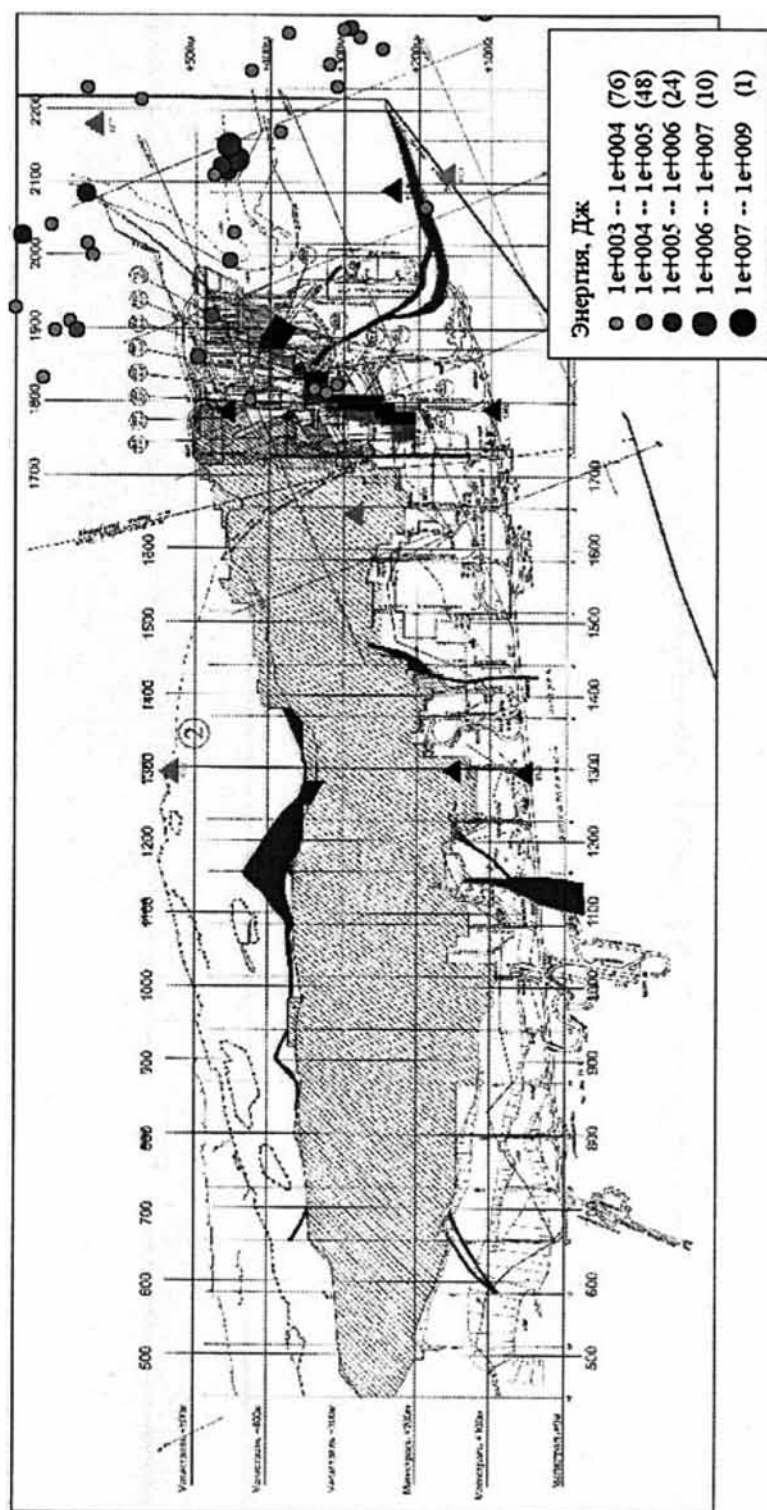


Рис. 4. Карта сейсмических событий, зарегистрированных 24.09.04 г. Расвумчоррский рудник. В скобках указано количество событий

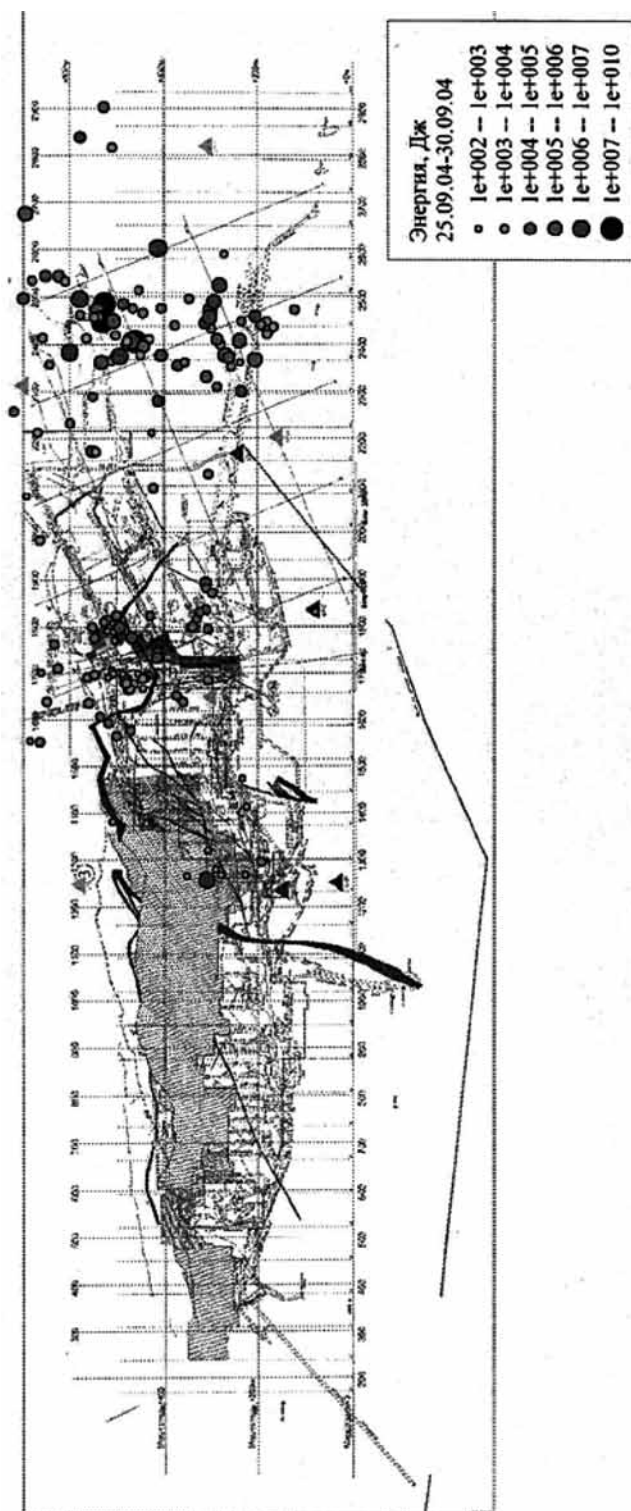


Рис. 5. Карта сейсмических событий, зарегистрированных с 25 по 30 сентября 2004 г.

имеются следующие данные: р/с № 4 – 48 м³/час, р/с № 5 – 72 м³/час, р/с № 6 – 16 м³/час.

Таким образом, можно сделать вывод, что с увеличением количества атмосферных осадков происходит повышение обводненности горного массива, т.е. заполнение водой пор и трещин в породе, что приводит к росту сейсмичности в массиве.

По данным протоколов событий были нанесены эпицентры естественных сейсмических событий, зарегистрированных

24.09.04 г. на карту карьера Центрального рудника (рис. 3) и план горизонта откатки Расвумчоррского рудника (рис. 4).

На карте хорошо видно, что сейсмичность на Расвумчоррском руднике в районе ведения горных работ снизилась, концентрация событий приходится на зону стыковки Расвумчоррского и Центрального рудников.

После главных толчков зарегистрирована серия афтершоков с энергией 10^6 – 10^7 Дж в зоне стыковки двух рудников (рис. 5).

Выявлены нарушения крепи выработок. Разрушение породы происходило за счет микроподвижек по плоскостям трещин и нарушений с оставлением на них штрихов и борозд скольжения. Это подтверждает увеличение количества естественных событий в сутки с большой энергией (10^5 – 10^8 Дж).

Проведем анализ сейсмических и метеорологических данных применительно к техногенному землетрясению, зарегистрированному 25.05.2005 г. на месторождении Плато Расвумчорр.

Серии толчков в районе рудоспусков № 4 и № 6, которые ощущались в подземных выработках и зданиях административно-бытовых комплексах Центрального и Расвумчоррского рудников, с магнитудой $M = 1,3$ – $2,3$, отмечались в период с 24–26 мая 2005 г., в карьере наблюдалось осыпание породы по зоне шпреуштейнизации. Отмечены вывалы по монолитному бетону в объеме 0,15–0,7 м³, сфор-

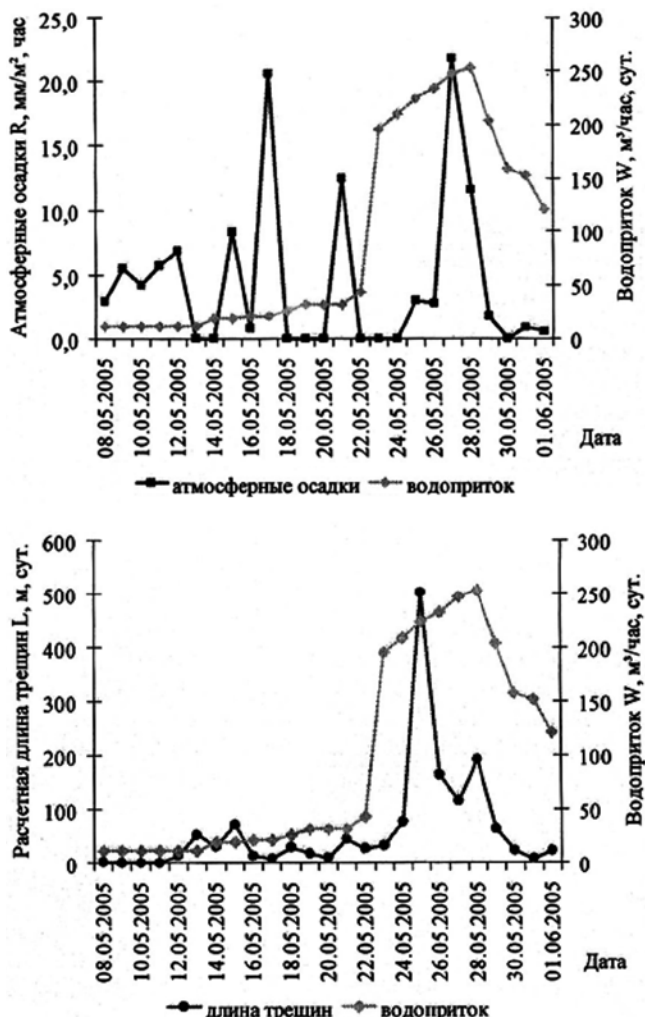


Рис. 6. Влияние обводненности пород на рост сейсмичности

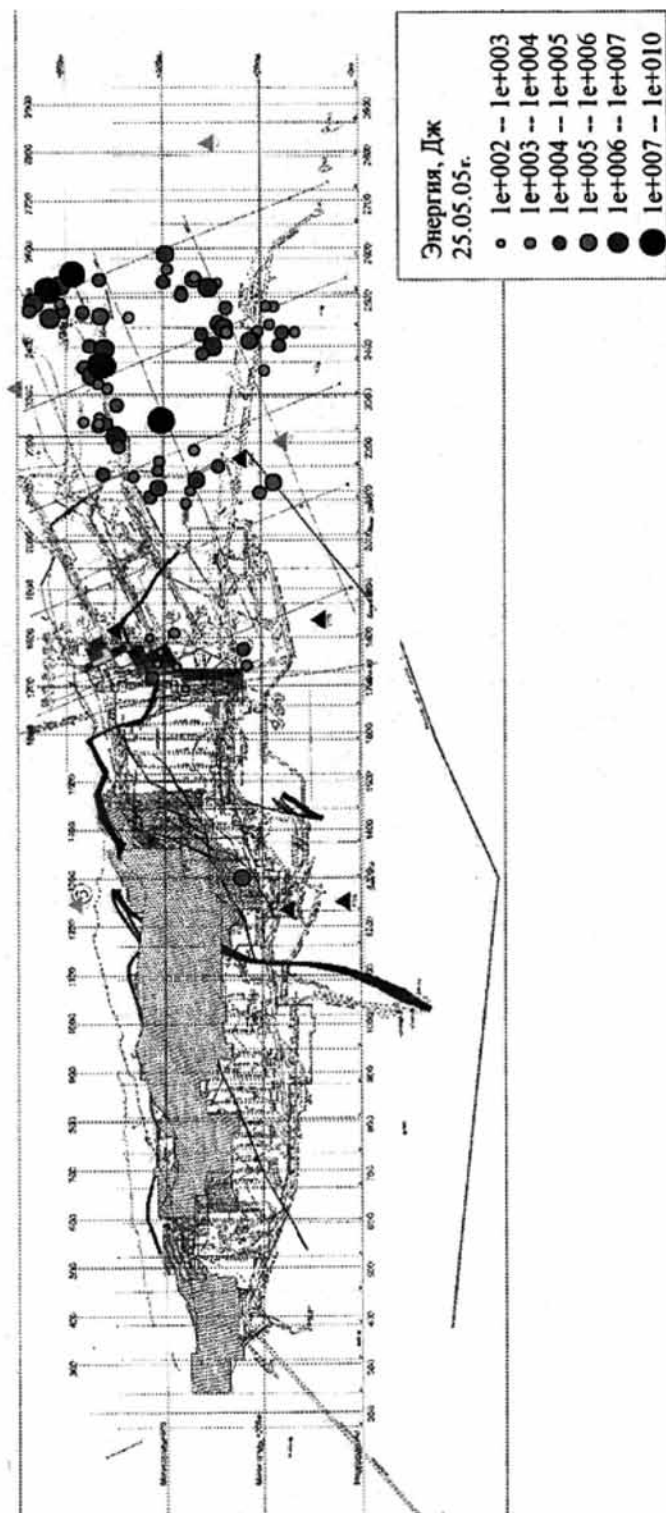


Рис. 7. Карта сейсмических событий, зарегистрированных за 25.05.05 г.

мировались продольные трещины в бетоне по кровле с раскрытием 1–3 см и протяженностью 10–20 м в выработках околоствольного двора рудоспуска № 4.

Анализ сейсмичности данного района показал: с 13 мая происходит рост естественных событий с энергетическим диапазоном $E = 10^5$ – 10^6 Дж, 25 мая число событий за сутки составило 51, максимальное значение энергии событий достигло $E = 10^8$ – 10^9 Дж.

По метеоданным с 8 мая зарегистрирован рост атмосферных осадков (с 2,9 мм/м² до 21,8 мм/м² сут.). С 14 мая 2005 г. водоприток на рудоспусках увеличивался, 22 мая водоприток на р/с № 4 составил 15 м³/час, на р/с № 5 – 19 м³/час, на р/с № 6 – 12 м³/час за сутки. 23 мая 2005 г. значения обводненности рудоспусков выросли: р/с № 4 – 45 м³/час, на р/с № 5 – 130 м³/час, на р/с № 6 – 20 м³/час за сутки. В день, когда произошло техногенное землетрясение на Централь-

ном руднике показатели по водопритокам были следующие – р/с № 4 – 64 м³/час, на р/с № 5 – 133 м³/час, на р/с № 6 – 27 м³/час за сутки. На рис. 6 по трендам можно отметить влияние атмосферных осадков на изменение суммарного водопритока на рудоспусках и взаимосвязь роста обводненности с изменением сейсмической активности. Количество сейсмических событий возросло в исследуемом районе с 11 шт. (23.05.2005 г.) до 51 шт. (25.05.2005 г.).

По созданному каталогу на план горизонта откатки Расвумчоррского рудника были нанесены эпицентры естественных сейсмических событий, зарегистрированных 25.05.2005 г. (рис. 7). Основная концентрация сейсмической активности приходится на зону стыковки Расвумчоррского и Центрального рудников. Таким образом, общее повышение сейсмичности связано с увеличением влагонасыщенности пород в результате интенсивного снеготаяния, длительных и интенсивных дождей в данный период времени.

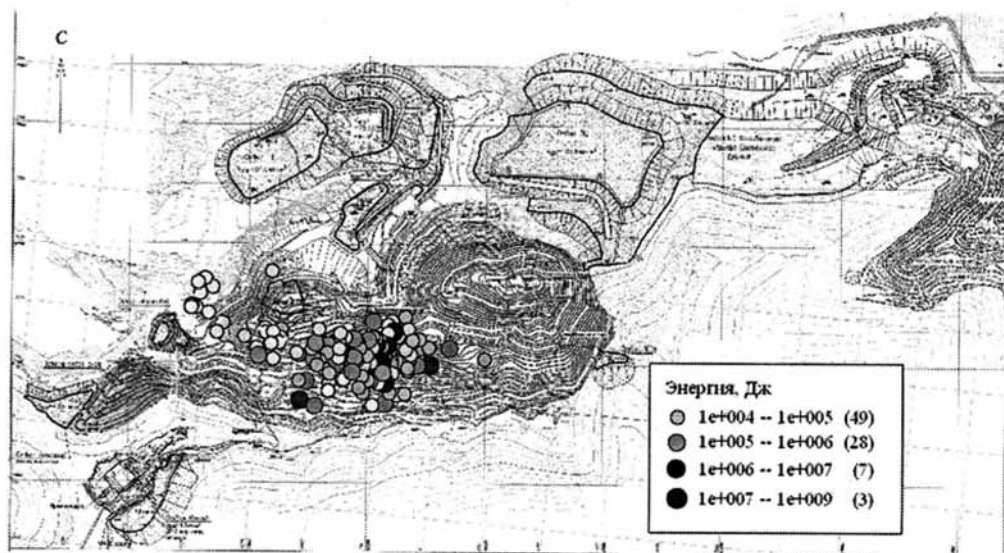


Рис. 8. Карта сейсмических событий, зарегистрированных 18.05.12 г. Карьер Центрального рудника

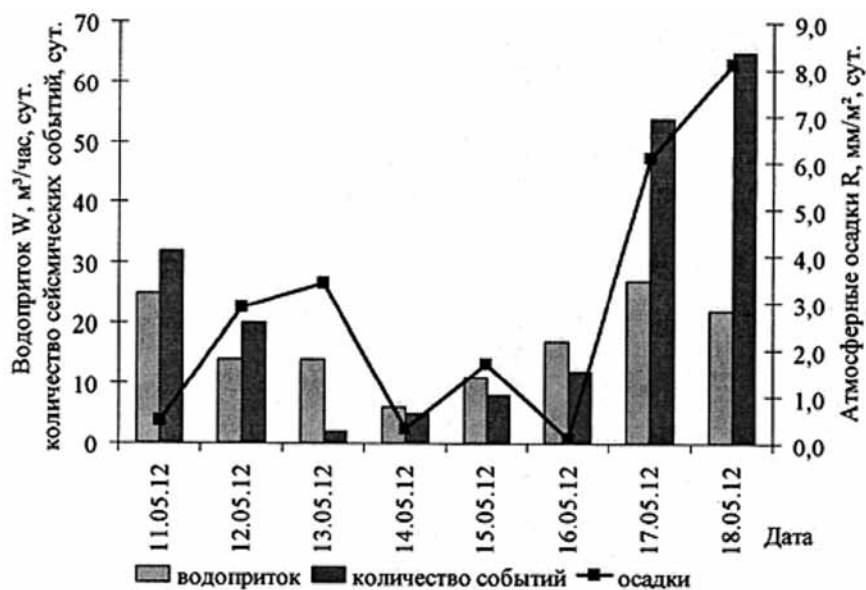


Рис. 9. Влияние обводненности на сейсмическую активность массива горных пород

В мае 2012 г. в карьере Центрального рудника усилилась сейсмическая активность: 6 мая 2012 г. были зарегистрированы сейсмические события с энергией $E = 10^3 - 10^6$ Дж в районе месторождения Плато Расвумчорр, 10 мая количество сейсмических явлений увеличилось до 14 шт., из них 4 события с энергией $E > 10^5$ Дж. С 14 мая отмечается активизация сейсмичности в зоне стыковки рудников Расвумчоррского и Центрального.

18 мая 2012 г. в карьере Центрального рудника объединенной системой контроля сейсмичности массива были зарегистрированы геодинамические явления с магнитудами $M = 1,0 - 2,1$. Общее количество сейсмических событий с энергетическим диапазоном $10^3 - 10^8$ Дж составило 107 за сутки (рис. 8).

Проведя анализ сейсмических, метеорологических данных и показателей по водопритокам на рудоспусках, были построены графики взаимосвязи обводненности и изменения сейс-

мологического фона в районе месторождения Плато Расвумчорр. На рис. 9 представлены тренды полученных значений, из которых видно, что при увеличении количества осадков происходит рост обводненности пород, что отражается на характерном увеличении сейсмоактивности.

В результате анализа взаимосвязи гидрогеологической обстановки и сейсмической активности в зоне стыковки Расвумчоррского и Центрального рудников был рассчитан коэффициент корреляции между выпавшими атмосферными осадками и количеством сейсмических событий, при этом его значение составило 0,75. Данное значение коэффициента корреляции показывает наличие тесной связи между объемом атмосферных осадков и сейсмической активностью в данном районе.

На основе полученных результатов исследования можно сделать следующие **выводы**:

1. В районе отработки месторождений Апатитовый Цирк и Плато Рас-

вумчорр Хибинского массива, общее сезонное повышение сейсмичности связано с увеличением влагонасыщенности пород в результате интенсивного снеготаяния, длительных и интенсивных дождей, в тектонически напряженном массиве, а также проводимыми взрывными работами как на карьере, так и на подземном руднике.

2. Наличие поверхностей ослабления в скальном массиве в виде зон окисления горных пород, зон трещиноватости и иных неоднородностей среды в значительной степени снижают прочностные свойства горных пород (сцепление, угол внутреннего трения), что способствует реализации техногенных землетрясений [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fedotova Iu.V., Kozyrev A.A., Yunga S.L. Mine-induced seismicity in the central part Kola Peninsula in Russia // Contribution of Rock Mechanics to the New Century. Proceedings of the ISRM International Symposium:

Third Asian Rock Mechanics Symposium, Kyoto, Japan, November 30 – December 2, 2004. Millpress. Rotterdam. Netherlands. Vol. 1, pp. 495–500. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Жукова Светлана Александровна – ведущий инженер-геофизик,
e-mail: SZhukova@phosagro.ru,
Центр геофизического мониторинга Открытого акционерного общества «Апатит».

UDC 622.831.232

THE RELATIONSHIP OF HYDROGEOLOGICAL SITUATION AND ACTIVIZATION OF SEISMIC ACTIVITY ON APATITE CIRCUS DEPOSIT AND RASVUMCHORR DEPOSIT

Zhukova S.A., Senior Engineer-geophysicist, e-mail: SZhukova@phosagro.ru,
Geophysical monitoring Centre of the JSC «Apatit».

The prolonged anthropogenic impact on the rock mountain mass influenced geodynamical situation in the investigated region. Powerful seismic events took place during last decade. The time periods of these events are confined to the periods of the greatest mountain mass watering. The article under consideration presents the results of natural factors influence on the seismic conditions change.

Key words: seismicity, monitoring, water cutting, technogenic earthquake.

REFERENCES

1. Fedotova Iu.V., Kozyrev A.A., Yunga S.L. Mine-induced seismicity in the central part Kola Peninsula in Russia. *Contribution of Rock Mechanics to the New Century. Proceedings of the ISRM International Symposium: Third Asian Rock Mechanics Symposium, Kyoto, Japan, November 30 – December 2, 2004.* Millpress. Rotterdam. Netherlands. Vol. 1, pp. 495–500.

