

III.2.3. Карстовые процессы в опасной зоне рудника БКПРУ-1 ОАО «Уралкалий» на Верхнекамском месторождении калийных солей

*Р.А. Дягилев, Д.А. Маловичко, Д.Ю. Шулаков,
И.В. Голубева, П.Г. Бутырин*

В октябре 2006 г. на руднике БКПРУ-1 Верхнекамского месторождения калийных солей (г. Березники, Пермский край) была объявлена аварийная ситуация в связи с угрозой затопления рудника. Для контроля геодинамической ситуации в районе так называемой «опасной зоны» размерами 300×400 м, где ожидалось образование карстовой воронки, силами специалистов лаборатории природной и техногенной сейсмичности Горного института (ГИ) УрО РАН была развернута временная сеть сейсмологических наблюдений. Временная сеть, существовавшая до конца января 2007 г., насчитывала от четырех до восьми пунктов и несколько раз меняла свою конфигурацию. В 4-точечной конфигурации сеть состояла из одного трехкомпонентного и трех вертикальных сейсмоприемников (GS-20DX). Регистрация сейсмических сигналов производилась непрерывно с помощью шестиканального 24-разрядного модуля SAQS (производства компании ISS International, ЮАР) в полосе частот от 0.5 до 100 Гц. 8-точечная расстановка формировалась за счет дополнительной 4-точечной с аналогичными характеристиками.

В феврале 2007 г., после запуска в эксплуатацию стационарной мониторинговой сети, временная сеть прекратила работу. Стационарная система сейсмологических наблюдений включала восемь вертикальных сейсмоприемников, установленных в четырех скважинах на глубинах 10 и 45 м, а также шесть поверхностных сейсмоприемников (четыре вертикальных и два трехкомпонентных). В скважинах были установлены датчики 1G4.5 с полосой пропускания от 3 до 2000 Гц, на поверхности – GS-20DX (10–250 Гц). Сигналы с сейсмоприемников поступали на регистрирующие модули SAQS, которые в свою очередь были связаны по радиоканалам и кабельным линиям с центром управления и сбора данных, размещенном в стационаре ГИ УрО РАН в 1.5 км от опасной зоны. В данном центре осуществлялись оперативный контроль работоспособности сейсмоприемников и регистраторов, а также первичная автоматическая обработка записей сейсмических событий с последующим ручным уточнением параметров очагов. Построенная система сейсмомониторинга обеспечивала получение информации о сейсмическом событии в районе опасной зоны, а также результатов первичной обработки уже через 1.5 мин после его происхождения.

В августе 2007 г. в систему были включены еще четыре сейсмоприемника (один трехкомпонентный и три вертикальных GS-20DX), установленные в шпурах в горных выработках рудника в 800 м к северо-востоку от опасной зоны. Схема локальной сейсмической сети по состоянию на конец августа 2007 г. представлена на рис. III.24.

За период с 20.10.2006 г. по 20.07.2007 г. системой мониторинга было зарегистрировано несколько тысяч сейсмических событий различной природы. Подавляющее большинство из них было связано с антропогенной деятельностью в зоне проведения наблюдений – движение автомобильного и железнодорожного транспорта, работа различных механизмов и др. Были также надежно зафиксированы 25 сейсмических событий, которые связаны с процессами хрупкого разрушения в глубине массива. Небольшое расстояние до очагов и расположение гипоцентров вблизи земной поверхности свидетельствовали, что все они были связаны с развитием карстовых процессов в опасной зоне рудника.

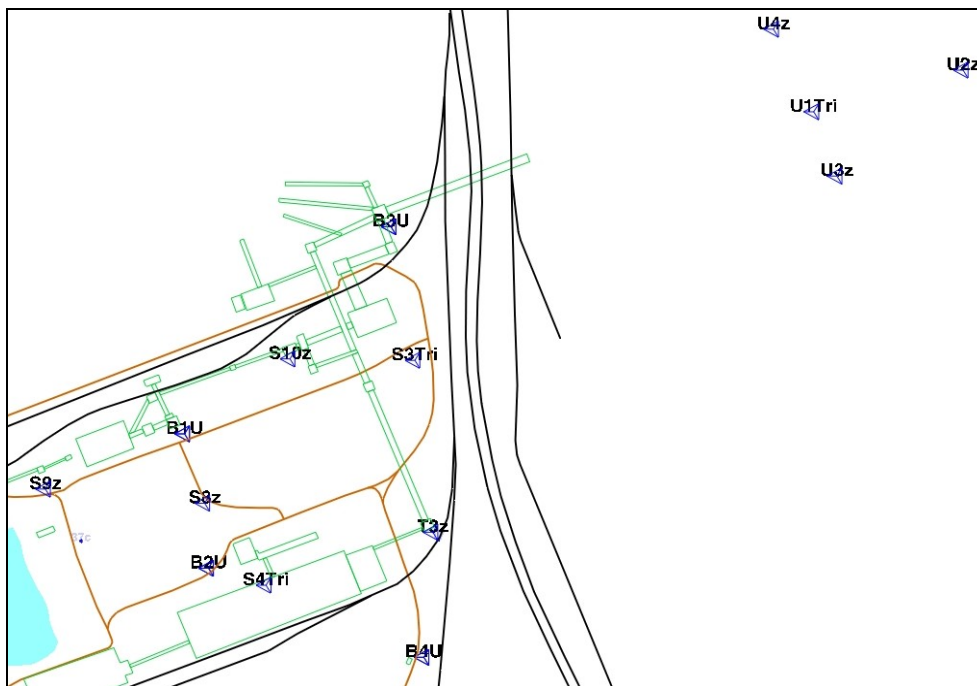


Рис. III.24. Схема сети сейсмических станций на руднике БКПРУ-1

Анализ мониторинговых данных показал, что, начиная с 20.07.2007 г., в обычном потоке сейсмичности стали появляться аномальные всплески сейсмической активности. Всплески характеризовались значительным повышением потока сейсмических событий (до 100 и более в час) и продолжались в течение нескольких часов (рис. III.25). Характер сигналов данных событий и локация очагов позволили ассоциировать их с процессами разрушения в приповерхностной толще пород (не глубже 100 м).

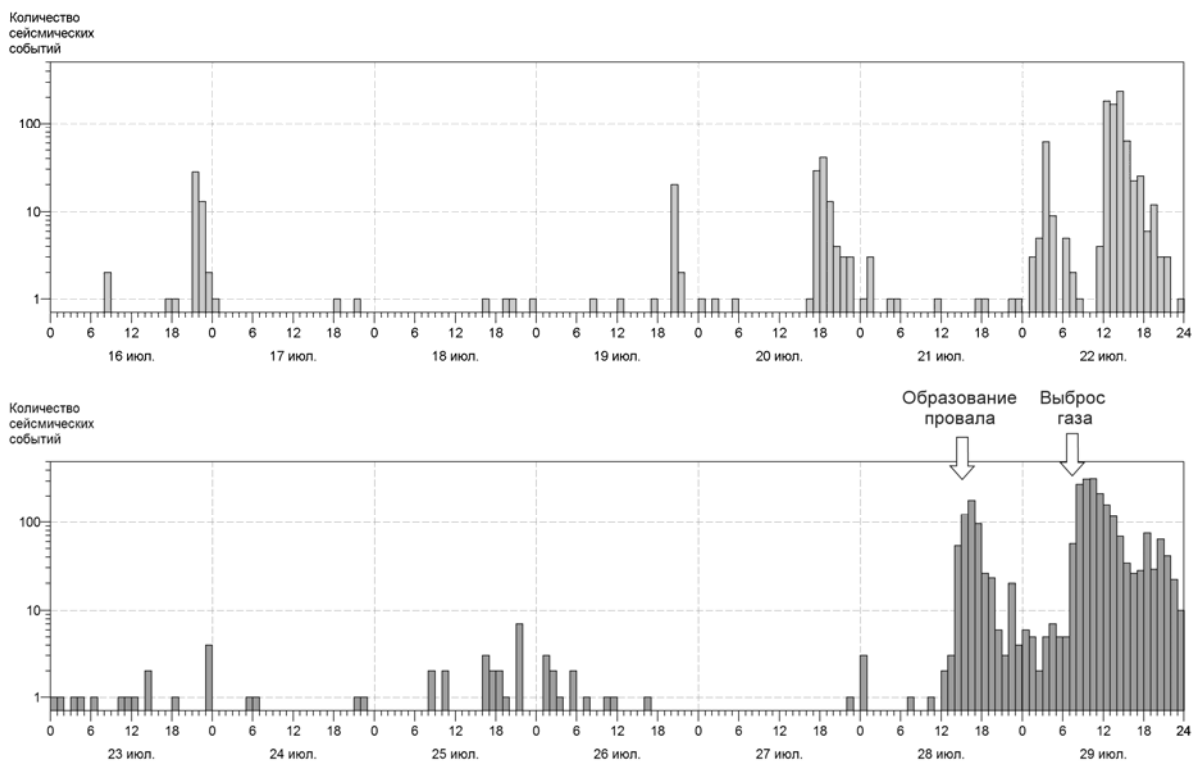


Рис. III.25. Распределение числа сейсмических событий в период с 16 по 29.07.2007 г. в опасной зоне рудника БКПРУ-1

В период с 23 по 27 июля сейсмическая активность снизилась, но несколько превышала фоновые значения. Наконец, 28 июля 2007 г., начиная с 12 часов местного времени, наступил период очередной резкой сейсмической активизации, и в 15^h24^m на земной поверхности произошло образование провала с размерами 55×80 м (рис. III.26). Интенсивное развитие провала сопровождалось большим количеством сейсмических событий, подавляющее большинство из которых можно было отнести к событиям «обвального» типа. Отдельные события можно было связать с образованием трещин в массиве.



Рис. III.26. Провал земной поверхности на руднике БКПРУ-1



Утром 29 июля была зафиксирована новая активизация сейсмической активности, и в 07^h27^m из глубины провала произошел выброс сероводорода, продолжавшийся около 2 мин. и сопровождавшийся интенсивным гулом (рис. III.27).

Рис. III.27. Выброс газа из карстовой полости

Всего до конца 2007 г. в пределах небольшого локального участка – в опасной зоне рудника – было зарегистрировано несколько тысяч обвальных сейсмических событий, из которых только для 756 удалось определить параметры очага. За пределами опасной зоны сейсмические явления (несколько сотен) также регистрировались, но, судя по местоположению их очагов, они были связаны с деформацией подработанного массива в ходе затопления рудника БКПРУ-1. Сведения о наиболее сильных событиях ($M > 1.0$) включены в региональный каталог (см. раздел V.18) и приведены в табл. III.10. Разброс эпицентров относительно первого сильного события не превышает 100 м, поэтому все они имеют близкие координаты.

Таблица III.10. Наиболее сильные сейсмические события, связанные с образованием провала на руднике БКПРУ-1

№	Дата,			Время, t_0 ,			Гипоцентр		h , км	M_L PERM	Макросейсмические данные
	год	м	д	ч	мин	с	φ , °N	λ , °E			
1	2007	7	28	9	24	8	59.38776	56.76940	0.150	1.3	образование провала на поверхности
2	2007	7	29	1	27	57	59.27470	56.77003	0.000	1.2	выброс газа из провала
3	2007	7	29	5	51	42	59.38788	56.76979	0.050	1.4	развитие провала
4	2007	7	31	23	8	47	59.27483	56.77090	0.050	1.2	развитие провала
5	2007	8	5	6	31	39	59.38770	56.77053	0.050	1.5	развитие провала
6	2007	8	8	4	22	39	59.38771	56.77060	0.050	1.4	развитие провала
7	2007	8	8	23	28	36	59.38785	56.77065	0.050	1.3	развитие провала
8	2007	8	14	14	45	36	59.38786	56.76919	0.116	1.5	развитие провала
9	2007	10	6	12	6	50	59.38855	56.77295	0.000	1.1	развитие провала

В соответствии с особенностями карстовых процессов, все события были разделены на два типа, которые характеризовались различными волновыми формами.

Тип 1. События с четкими вступлениями сейсмических волн, имеющие, как правило, небольшую энергию (десятки – первые сотни Дж) и высокую частоту (30–60 Гц) сигналов. Вступления поперечных волн на записях не идентифицируются. Для данных явлений удается достаточно надежно оценить положение очага. Четкая корреляция сигналов косвенно указывает на глубинное происхождение источника. События 1 типа ассоциируются с процессами трещинообразования в приконтурной части карстовой полости или с актами разрушения в горных выработках.

Тип 2. Длительность записей данных событий составляет первые секунды, а их сигналы характеризуются сравнительно низкочастотным составом (10–20 Гц). Сложно выделить вступления отдельных фаз, поэтому для них качество оценки положения очага по первым вступлениям, как правило, ниже, чем для событий 1 типа. События 2 типа ассоциируются с продолжительными процессами разрушения (например, обрушением пород кровли или стенок карстовой полости) или с процессами разрушения на небольшой глубине (в пределах сотни метров).

При сопоставлении эпицентров сейсмических событий с положением контура провала удалось установить, что события 1 типа опережают развитие контура провала примерно на 1–2 недели. Такая корреляция позволила осуществлять прогноз характера развития бортов провала в период наиболее активного развития карстовой полости. Связь сейсмичности с развитием провала в течение июля и августа 2007 г. показана на рис. III.28 а–ж. К концу года интенсивность сейсмических процессов существенно снизилась, а развитие карстовой полости прекратилось. Ее очертания по состоянию на конец декабря 2007 г. показаны на рис. III.28 з.

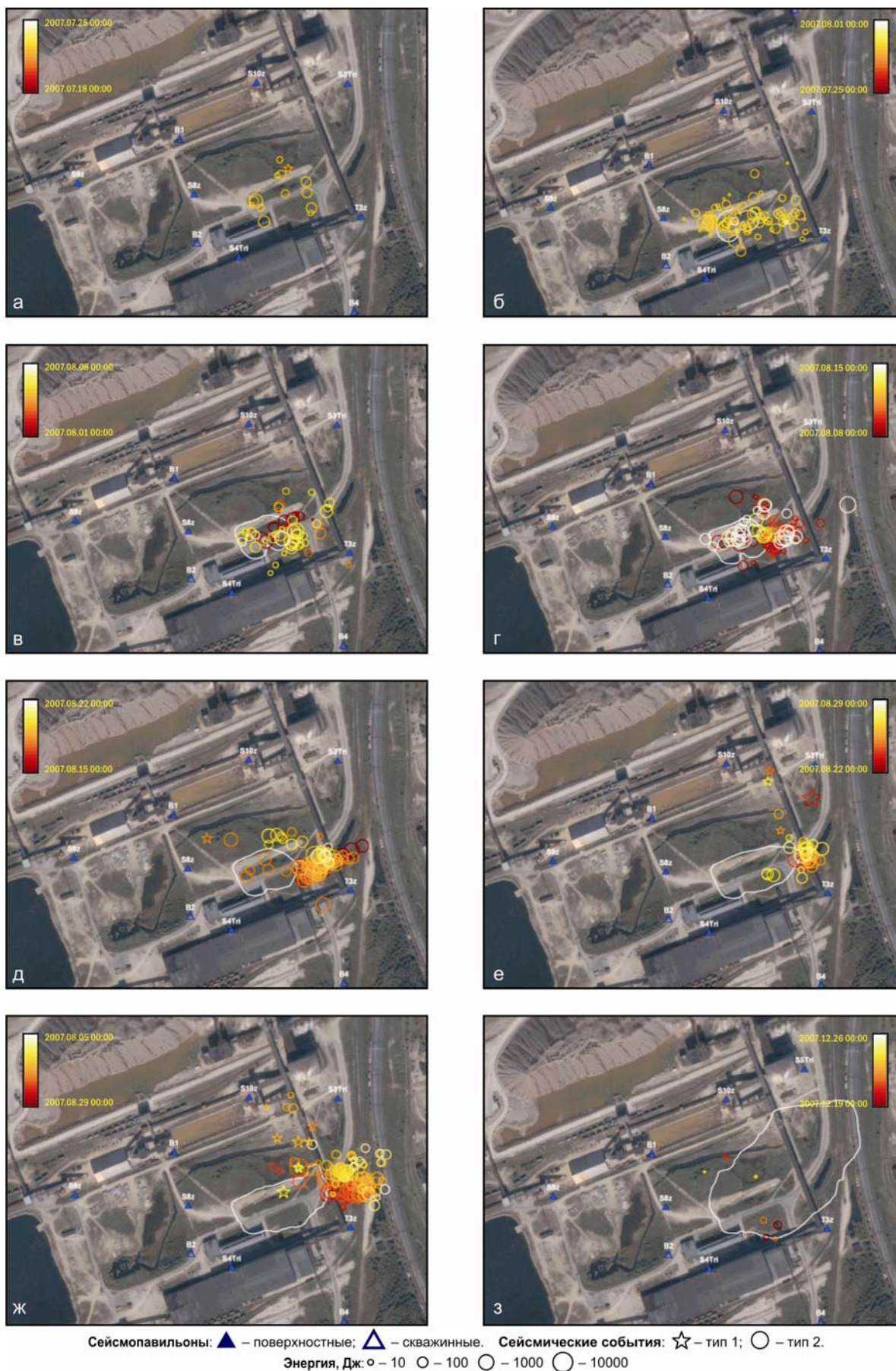


Рис. III.28. Динамика развития сейсмических процессов в районе провала