

Анализ причин аварий

УДК 622.831.32
© Б.В. Лаптев, 2009

АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ НА ВЕРХНЕКАМСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ СОЛЕЙ



Б.В. Лаптев,
д-р техн. наук,
эксперт
(ЗАО НТЦ ПБ)

It was noted there had been three major accidents at Verkhnekamsky potash-magnesium minefield, two of which resulted in complete immersion of two mines without possibility of subsequent restoration. Emergency situations — result of interference of production-induced hazardous zones of heightened mining pressure with natural potentially dangerous zones remarkable for primary rocks reduced rigidity in all under-mined waterproofing stratum.

Ключевые слова: затопление калийных рудников, опасные техногенные и природные зоны, скорость оседаний, прочность пород, вторичные геологические процессы.

Из руд, добываемых на единственном в России Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей, получают в основном калийные удобрения для сельского хозяйства и сырье для производства магния и соды. До недавнего времени на месторождении разработка велась семью рудниками: три в ОАО «Сильвинит» (г. Соликамск), четыре в ОАО «Уралкалий» (г. Березники Пермского края). Объем добычи руды составлял на каждом руднике 6–7 млн. т в год.

В период строительства в 30-е годы Первого Соликамского рудника и позднее Первого Березниковского рудника считалось, что Верхнекамское месторождение, несмотря на наличие в подрабатываемом массиве пород водоносного горизонта, имеет благоприятные горно-геологические условия залегания для безопасной разработки камерной системы с оставлением «жестких» междукамерных целиков, поддерживающих налегающую толщу пород, и горные работы не будут представлять опасности для жизнедеятельности предприятий и находящихся на подрабатываемой территории сооружений. В результате гг. Соликамск и Березники оказались частично на подработанной территории.

Строительство и ввод в эксплуатацию Второго Березниковского рудника в конце 60-х годов полностью опровергли концепцию о весьма благоприятных горно-геологических условиях залегания месторождения. Из-за низкой устойчивости пород кровли пришлось буровзрывной способ отбойки руды менять на механический с использованием комбайновых комплексов, уменьшить поперечный пролет очистных выработок с 10–16 м (приняты по аналогии с Первыми рудниками) до 3–6 м с арочной формой выработок. Начали прояв-

ляться внезапные выбросы соли и газа при отработке сильвинитовых пластов. В свое время проф. В. Гимм (Германия) указывал на недопустимость проектирования параметров систем разработки соляных рудников по аналогии с действующими [1]. В еще более сложных геологических условиях оказалось шахтное поле Третьего Березниковского рудника.

В июле 1986 г. Третий Березниковский рудник был затоплен в результате прорыва рассолов, располагающихся над соляными отложениями, в выработанное пространство. Рассолопроявления начались в январе в отработываемом блоке № 8 4-й западной панели. Количество рассолов, поступивших в рудник, составило около 15 млн. м³. В процессе выщелачивания солей над блоком № 8 произошло обрушение земной поверхности с образованием провала (воронки) длиной от 60 до 80 м и шириной от 40 до 50 м.

В аварийном блоке отработывался один пласт Кр II механическим способом с оставлением «податливых» целиков (извлечение по площади составляло до 60 %). Верхний пласт не отработывался как некондиционный по составу. Отработка блока велась обратным порядком, догоняющим забоем с движением очистных работ на выработанное пространство, закладка которого не осуществлялась.

В вышележащих породах, защищающих отработываемый пласт от рассольного горизонта мощностью около 100 м, имелась зона с измененным составом пород, что указывает на наличие происходивших в массиве вторичных геологических процессов. На момент аварии оседание подработанной земной поверхности во внутренней границе мульды сдвижения пород составило 1,2 м при максимальной скорости оседания 180 мм/мес. По мнению М.И. Шимана [2] основной причиной затопления рудника необходимо считать несоответствие параметров камерной

системы разработки горно-геологическим условиям обрабатываемого участка.

Автором, на примере многочисленных аварийных ситуаций из мировой практики отработки соляных месторождений (Канада, Германия и др.), для привлечения внимания специалистов к проблеме интенсивной разработки Верхнекамского месторождения была опубликована статья «Катастрофы» (газета «Уральский калийщик» от 23.03.90), в которой сделан вывод, что без соблюдения соответствующих профилактических мероприятий и регламентирования порядка ведения горных работ на месторождении могут быть негативные явления. В отклике на статью главного инженера ОАО «Уралкалий» был дан ответ о необоснованности для условий Верхнекамского месторождения возможности возникновения подобных ситуаций (газета «Уральский калийщик» от 11.04.90).

В январе 1995 г. на Втором Соликамском руднике произошла авария, повлекшая мгновенное массовое разрушение междукамерных целиков, обрушение пород кровли очистных камер, междупластий с одновременным выделением и вспышкой природных газов. Объем разрушенных пород составил около 3 млн. м³, выделилось примерно 1 млн. м³ газа. Несколько сейсмических станций зафиксировали сейсмический сигнал длительностью 4 мин с магнитудой 3,8 и энергией $1 \cdot 10^{10}$ Дж. Разрушение сопровождалось мгновенным (в течение менее суток) оседанием земной поверхности над очагом до 4,5 м.

Как в первом, так и во втором аварийных случаях экспертное заключение автора об истинных причинах катастроф комиссиями по расследованию аварий было проигнорировано.

Для Второго Соликамского рудника была принята концепция о первопричине аварии — природное или техногенное землетрясение на глубине около 3 км. По мнению автора, основанному на анализе сейсмограммы, землетрясения не было. Причины: длительность сигнала 4 мин, его частота и амплитуда соответствуют газодинамическим явлениям, а не землетрясениям — 1–2 мин; существует один сигнал, а не два, если было бы первоначально землетрясение, а затем разрушение пород [3].

Представим концепцию автора о горнотехнических и горно-геологических условиях аварии отличную от официальной [4].

При аварии на I СВП (северо-восточная панель) и на II СВП (северная примыкающая полупанель) гор. –143 м два сильвинитовых пласта АБ и Кр II обрабатывали механическим способом. Ширина камер 16 м, целиков 11 м. В южной полупанели II СВП было отработано три пласта — дополнительно верхний пласт В сильвинитового состава с принудительным обрушением некондиционного пласта БВ в ранее отработанные камеры нижележащего пласта АБ. На I СВП в районе аварии в первую очередь обрабатывался нижний пласт Кр II.

Последующая отработка вышележащего пласта АБ была осложнена из-за обрушения пород кровли в камерах нижнего сближенного пласта, в результате чего в самом эпицентре аварии не были отработаны две камеры по пласту АБ и был оставлен в выработанном пространстве целик шириной 65 м, длиной 200 м. Кроме того, пласты вокруг оставленного целика и будущего очага разрушения были отработаны на 1,5–3 года ранее, что привело к некоторой осадке более податливых окружающих целиков и пригрузке опорного. Обрабатывался массив в выработанном пространстве. До аварии закладочные работы на данном участке не велись. В настоящий момент все пустоты заложены с использованием гидротранспорта.

На аварийном участке создалась горнотехническая обстановка, способствовавшая накоплению в породах значительных запасов потенциальной энергии за счет наличия в центре очага мощного целика, осадения вокруг него междукамерных целиков и границы резкого перехода от двух к трехпластовой отработке, которая реализовалась в форме динамического разрушения массива в огромных размерах. В 1990 г. на рассматриваемом руднике зарегистрировано весьма крупное газодинамическое явление, при котором объем разрушенной породы составил 2,1 тыс. м³.

Как показал анализ горно-геологической обстановки, в районе аварии по пласту В менялся состав пород в массиве, что указывает на вторичные геологические процессы, которые сформировали потенциально опасную геологическую среду. Ранее автором совместно с И.С. Тупицыным была разработана методика выявления потенциально опасных по газодинамическим явлениям переходных зон (зон смены состава пород) на Верхнекамском месторождении, которая послужила основой для составления действующего руководства по региональному прогнозу выбросоопасных зон.

Энергетическая оценка события с учетом энергоемкости разрушения пород, а также энергообмена между обрабатываемыми пластами и вмещающими их породами показала, что самоподдерживающийся процесс саморазрушения пород возможен был в данном случае только при участии в нем энергии газа, заключенного в породах [4].

В октябре 2006 г. произошел прорыв рассолов в горные выработки 4-й западной панели Первого Березниковского рудника, спасти его от затопления не удалось. На месте прорыва рассолов в июле 2007 г. на земной поверхности на территории промышленной площадки образовался провал 55×80 м с последующим увеличением его размеров до 200 м. Одновременно с поступлением в горные выработки рассолов в рудничную атмосферу выделилось большое количество сероводорода, что однозначно указывало на происхождение рассолов как надсолевых, а не внутрипластовых. Над выработанным пространством

рудника или в зоне его влияния находятся гражданские объекты г. Березники и промышленные предприятия.

На площади аварийного участка совместно отработывали силвинитовые пласты АБ, Кр II и в непосредственной близости от них дополнительно — верхний пласт В карналлитового состава механическим и буровзрывным способами. Ширина очистных камер 15–16 м, междукамерных целиков 10–11 м при вынимаемой мощности 6–7 м, глубина разработки пластов 260–285 м. Пласт АБ отработан в 1965 г., Кр II — в 1977 г., выработанное пространство заполнено закладкой в 1996–1999 гг., официальная полнота закладки 80 %, 11 очистных камер по пластам остались незаложенными. Основной способ закладки — гидравлический.

В районе аварийного участка имеется геологоразведочная скважина № 17, вокруг которой, согласно действующим нормативным документам, был оставлен охранный целик на отработываемых пластах, вблизи находился целик под промышленную площадку. В зоне охранный целик вокруг скважины очистные работы изменялись от двухпластовой к однопластовой и резко к трехпластовой схеме отработки свиты пластов. В подработанной земной поверхности оседания до момента аварии достигли 4 м при средней скорости около 200 мм/год и более.

В рассматриваемом районе шахтного поля подработанный массив горных пород имеет аномальное строение, которое выражается в изменчивости литологического состава от происходивших вторичных гипергенных геологических процессов. По геофизическим данным отмечен резкий перегиб поверхности контакта солей и вышележащего рассольного горизонта, который в случае интенсивного оседания мог стать концентратором появления кососекущих трещин.

Оба затопленных рудника восстановить невозможно, как и невозможно было остановить их затопление.

Автором статьи на основании научно-исследовательских работ были получены функциональные зависимости в виде линейного регрессионного полинома для определения ожидаемой максимальной скорости оседания подработанных пород, зависящей от комплекса горнотехнических и горно-геологических факторов [4]. Расчеты ожидаемых максимальных скоростей оседаний позволяют выявлять потенциально опасные зоны. Подобная работа была выполнена для условий Первого Березниковского рудника в 1997 г., в результате которой на плане шахтного поля была указана опасная по вероятным ожидаемым скоростям сдвига зона на площади 4–5-й западных панелей [5]. Скорость оседаний как критериальный параметр не рассматривается в действующих нормативных документах. Необходимо отметить, что скорость нагружения соляных пород определяет их свойства:

при плавном, статическом нагружении они проявляют себя как пластичные тела, при скоростном, динамичном — как хрупкие [1].

Разработанные в 1995 г. ОАО «Галургия» Меры охраны объектов в пределах 4–5 западных панелей рудника БКПРУ-1 выполнены не в полном объеме. Не была осуществлена дозакладка выработанного пространства аварийного участка с ссылкой на опасное состояние подводящей к нему выработки, что нельзя признать весомым аргументом при решении вопросов обеспечения безопасности рудника.

Аналогичная опасная зона по возможным высоким скоростям оседаний выявлена для условий 15-го блока на Первом Соликамском руднике. В настоящее время выработанное пространство данного блока полностью заложено, скорость оседания земной поверхности уменьшилась.

На Первом Березниковском руднике после аварии все шахтные стволы засыпаны солеотходами. В провале земной поверхности, который не ликвидирован (не засыпан) рассолы приближаются к поверхности, что может привести к их разливу по территории промышленной площадки (обоганительный комплекс действует на привозном сырье), попаданию в р. Кама, затоплению железнодорожной станции Березники. Для предотвращения опасности разлива рассолов вокруг провала строится ограждающая дамба. Провал не был ликвидирован опять же по экономическим соображениям и в силу отсутствия соответствующих нормативных требований по данному вопросу.

Из представленных материалов по трем авариям на месторождении наблюдается идентичность горнотехнических и горно-геологических условий, способствовавших или провоцировавших эти негативные явления.

По мнению автора все три аварии произошли в зонах повышенного горного давления из-за неправильного порядка ведения горных работ. На Третьем Березниковском руднике горные работы велись при отработке блока обратным порядком на выработанное пространство с оставлением «податливых» междукамерных целиков.

На Втором Соликамском руднике в эпицентре аварии находился целик от двух неотработанных очистных камер по верхнему пласту (отработывался массив в выработанном пространстве), на смежных, граничащих панелях к отработке было принято разное количество пластов — два и три с единой линией фронта остановленных очистных работ (в створе). Оставленный в выработанном пространстве целик оказался концентратором предельных напряжений по отношению к вмещающим его породам. Закладка выработанного пространства на момент аварии не проводилась.

На Первом Березниковском руднике отработано в районе аварии также разное количество пластов. Существенное влияние на неблагоприятную геомеханическую обстановку оказали целики под промплощадку и геологоразведочную скважину, а также целик на

пласте АБ в выработанном пространстве из-за неотработанных камер. Возможно, негативное влияние оказали происшедшие многочисленные мощные газодинамические явления при отработке карналлитового пласта В, полости от которых распространялись до вышележащих пластов Г, Д. Необходимо отметить также то обстоятельство, что провал приурочен к пойме старого русла р. Зырянка, в ее изгибе, а это свидетельствует о возможном наличии в данном районе разлома в породном массиве [6].

Аварии произошли в зонах вторичных геологических процессов, что фиксируется по изменению литологического состава как отрабатываемых пластов В, В, так и вышележащих, входящих в водозащитную толщу. Чаще всего происходило замещение карналлитовых пород пестрыми сильвинитами или каменной солью (метасоматоз). В процессе метасоматоза нарушаются связи между отдельными кристаллами, зернами, блоками, слоями, что приводит к снижению прочностных свойств пород. В случае, когда метасоматоз не закончился, указанные связи не успевают восстановиться на прежнем энергетическом уровне, и руды в этих зонах имеют пониженную связанность и прочность. По данным исследований автора прочность пород в таких зонах на 25 % ниже, чем в нормальных условиях.

Хрупкое разрушение пород, иногда в динамичной форме, сопровождающее часто горные разработки и являющееся наиболее неблагоприятным видом реализации энергии горного давления, происходит при определенном сочетании геологических и горнотехнических условий в результате концентрированного накопления потенциальной энергии упругого сжатия горных пород. Характеризуется оно внезапным высвобождением энергии в виде мгновенного разрушения предельно-напряженных областей горных пород с последующим проявлением деформаций, сдвигания и колебания окружающего массива пород.

В момент, когда рудные или породные целики не выдерживают приложенных к ним нагрузок и начинают разрушаться, сжатые массивы горных пород, расположенные выше и ниже их, получают возможность расширяться и отдавать свою энергию прежде всего на повышение интенсивности разрушения целиков и сотрясение горного массива. Рассмотренный механизм разрушения элементов системы разработки, подработанного массива с последующим выходом разрушений на земную поверхность полностью реализовался во всех трех авариях.

Горнотехнических и горно-геологических ситуаций в отдельности, подобных рассмотренным на Верхнекамском месторождении, в выработанном пространстве имеется значительное количество. Любое проявление сил горного давления в динамической форме — недетерминированный, стохастический процесс, зависящий от случайного сочетания природных и техногенных факторов. Именно такое сочетание горнотехнических ситуаций, при которых поро-

ды в районе аварий получили значительную пригрузку и накопили большие запасы упругой потенциальной энергии, и геологической обстановки, отличающейся пониженной прочностью пород, часто повышенной газоносностью, привели к разрушению пород и нарушению их сплошности, появлению водопроводящих трещин.

По мнению автора для предотвращения аналогичных аварий на Верхнекамском месторождении необходимо:

полностью исключить при ведении очистных работ горнотехнические ситуации, приводящие к формированию зон повышенного горного давления (большинство газодинамических явлений на рудниках при отработке сильвинитовых пластов также было ими спровоцировано);

провести по всем шахтным полям действующих рудников ретроспективный анализ по выявлению в выработанных пространствах зон повышенного горного давления;

в выявленных опасных по геомеханической обстановке зонах, включая опасную скорость оседания земной поверхности, оценить наличие угрожаемых природных зон по геологическим параметрам;

в случае наложения природных и техногенных опасных зон в пространстве, провести комплекс геофизических исследований для уточнения строения водозащитной толщи и, при установлении опасной ситуации, разработать для потенциально угрожаемых участков комплекс профилактических мероприятий по предотвращению негативных последствий, включая дозакладку выработанного пространства (сухая закладка склона к консолидации, гидравлическая — к усыханию).

Список литературы

1. Kali- und Steinsalzbergbau//Werner Gimm — Leipzig:VEB Deutscher Verlag fur Grundstoffindustri, 1968. — 600 s.
2. Шиман М.И. Предотвращение затопления калийных рудников. — М.: Недра, 1992. — С. 30–40.
3. Лаптев Б.В. О взаимосвязи параметров сдвигения с выбросоопасностью пород// Проблемы безопасности при эксплуатации месторождений полезных ископаемых в зонах градопромышленных агломераций. Материалы международного симпозиума SRM-95. — Екатеринбург, 1997. — С. 99–104.
4. Лаптев Б.В., Ахметов Б.Ш. Об одной концепции причин аварии на калийном руднике СКПРУ-2 ОАО «Сильвинит»// Горно-информационный бюл. — МГТУ, 1999. — № 3.
5. Разработать рекомендации по параметрам отработки опасных по ГДЯ и вероятным высоким скоростям оседаний подработываемых пород зон на шахтных полях ОАО «Уралкалий»// Отчет по НИР, фонды ОАО «Галургия». — Пермь, 1997.
6. Петухов И.М., Ватугина И.М. Геодинамика недр. — М.: Недра, 1996. — 217 с.

laptevbv@mail.ru