

<https://doi.org/10.3176/oil.1995.1.06>

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ, ТУШЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ПОДЗЕМНЫХ ПОЖАРОВ НА СЛАНЦЕВЫХ ШАХТАХ

UNDERGROUND FIRES IN OIL SHALE MINES: SPECIAL TRAITS OF THEIR SPREADING, EXTINGUISHING AND LIQUIDATING OF CONSEQUENCES

Э. В. ПАРАХОНСКИЙ

E. PARAKHONSKY

ГП «Ээсти пылевкиви»
Кохтла-Ярве, Эстония

State Enterprise "Eesti Põlevkivi"
Kohtla-Järve, Estonia

In Estonian underground mines numerous small and some large fires have taken place. The last large-scale fire occurred in 1988/1989. The problems of its spreading, extinguishing and of liquidating the consequences are discussed in the paper.

В последние годы на сланцевых шахтах Эстонии значительно возросла опасность возникновения подземных пожаров. Это обусловлено рядом факторов, как объективных, так и субъективных. Статистика показывает, что на крупных высокомеханизированных шахтах подземные пожары возникают чаще. Так, на самой крупной, полностью конвейеризированной сланцевой шахте «Эстония» с проектной мощностью по горной массе 9 млн. тонн в год их частота в 3–4 раза выше, чем на других шахтах Эстонского месторождения горючих сланцев.

Основные причины таких пожаров — несоблюдение требований противопожарной безопасности при выполнении огневых работ в горных выработках и трение движущихся элементов горных машин о неподвижные части.

Горючий сланец плохо смачивается водой и при высоких температурах (выше 400 °С) плавно переходит в растворимое состояние, превращаясь в термобитум, после чего начинается разложение органической части сланца с образованием смолы (23,6 %), газов (5,1 %), пирогенной воды (1,8 %) и полуккокса или золы (69,5 %). Последняя при увлажнении довольно быстро цементируется. Смола и газы усиливают горение сланца, что приводит к расширению очагов пожара.

Наиболее крупный и сложный подземный пожар имел место на шахте «Эстония», где обрабатывается промпласт горючего сланца мощностью 2,8 м, залегающий на глубине 65 м. Пласт негазовый, но опасный по взрывчатостипыли, если её влажность меньше 15 %.

Шахтное поле вскрыто одним вертикальным и двумя наклонными стволами. Схема подготовки шахтного поля — панельная, с прямым ходом отработки и камерной системой разработки пласта. Каждая панель вскрыта тремя параллельными штреками — конвейерным, вентиляционным и рельсовым, которые предназначены соответственно для осуществления вентиляции, водоотлива и транспортирования людей и грузов (рис. 1а). Для поддержания кровли в камерах оставляются целики — в виде опор из неразрушенного промпласта размерами в плане 6 х 6,5 м. Схема проветривания каждой панели — нагнетательная, обособленная, секционированная. Свежий воздух подается в очистные выработки по рельсовым и конвейерным штрекам вентиляторами ВОКД-2,4, установленными на воздухоподающих шурфах. Исходящая струя с отработанным и загрязненным воздухом удаляется через выхлопные шурфы.

Пожар возник 3 ноября 1988 г. в пройденном по промпласту сланца 4-м панельном конвейерном штреке с поперечным сечением 14 м² (рис. 1б).

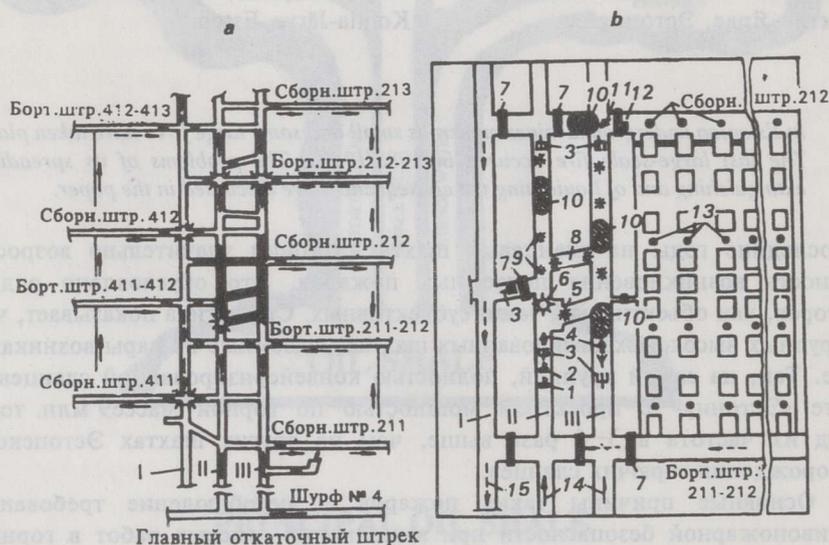


Рис. 1. Схема аварийного участка: а — общий ситуационный план, б — аварийный запожаренный участок; 1 — установка ПГУ-200, 2 — установка «Вихрь», 3 — водяная завеса, 4 и 11 — пожарные стволы, 5 и 8 — сбойки, 6 — очаг пожара, 7 — перемычки, 9 — распространение пожара, 10 — зона обрушения пород, 12 — огнетушители, 13 — скважины, 14 — свежая вентиляционная струя, 15 — исходящая (отработанная) вентиляционная струя; I — вентиляционный штрек, II — конвейерный штрек, III — рельсовый штрек
Fig. 1. Outline of the accident area: (a) general layout and (b) burning area; 1 - device PGU-206, 2 - device "Vikhr", 3 - water curtain, 4 and 11 - fire-fighting hoses, 5 and 8 - crosscuts, 6 - fire centre, 7 - stoppings, 9 - fire extention, 10 - rock caving area, 12 - fire extinguishers, 13 - boreholes, 14 - intake air, 15 - return air; I - ventilation drift, II - conveyer drift, III - rail drift.

Непосредственная кровля в штреке была представлена слоем некондиционного сланца толщиной 0,2 м, а почва — известняком. Для крепления сложной кровли слоистого строения в штреках и камерах используется анкерная крепь типа ЭС-85с. В штреке были установлены два ленточных конвейера 1ЛУ-120 с резинокросовой лентой, а также пожарно-оросительный трубопровод диаметром 150 мм с пожарными кранами через каждые 50 м. Приводные станции ленточных конвейеров оснащены автоматическими пожаротушащими установками УАК-2М, первичными средствами пожаротушения и пожарными кранами со стволами и рукавами. Установка УАК-2М представляет собой автоматический клапан с системой трубопроводов, разбрызгивателями, датчиком автоматического включения в виде натянутого троса с тепловыми замками и конечным выключателем. При повышении температуры окружающего воздуха выше 47 °С один или несколько тепловых замков распадаются, груз поворачивает рычаг конечного выключателя для отключения электроэнергии и автоматического клапана для подачи воды к разбрызгивателям.

Возникновение пожара было обнаружено в 5 ч 10 мин, когда машинист электровоза с двумя рабочими въехали в задымленную часть рельсового штрека в районе бортового штрека 212-213. Протяженность задымленной части рельсового штрека к тому времени составляла около 700 м. Первое отделение 26-го военизированного горноспасательного отряда, расположенного в г. Йыхви, прибыло на шахту в 6 ч 5 мин, когда было окончательно установлено, что пожар возник в 4-м конвейерном штреке и был введен в действие план ликвидации аварии: все находящиеся в шахте люди были извещены об аварии и начали покидать опасную зону, на аварийном участке была отключена электроэнергия и реверсирована вентиляционная струя. В 8 ч 38 мин из шахты, от командира отделения горноспасателей, поступило сообщение о ситуации на аварийном участке: пожаром был охвачен конвейерный штрек, обе сбойки и часть рельсового штрека между ними. Горели конвейерная лента, сланец и кабели для питания приводов ленточных конвейеров. Оба штрека были задымлены на протяжении 4 км, и видимость практически отсутствовала, пламя распространилось по штрекам на расстояние до 350 м. Все это исключало возможность непосредственного подхода к очагам пожара и осложняло его тушение. Экспресс-анализ состава воздуха в исходящей вентиляционной струе показал содержание диоксида углерода (CO_2) 0,5 %, кислорода (O_2) 20,5 % и оксида углерода (СО) 0,02 %. В 9 ч 20 мин из шахты были выведены все за исключением горноспасателей и работников шахты, непосредственно связанных с ликвидацией пожара.

В начальный период горноспасатели пытались сдержать распространение пожара только при помощи порошковых огнетушителей, поскольку поначалу вода в Пожарно-оросительном трубопроводе полностью отсутствовала, а позже она не могла быть постоянно использована для тушения из-за слабого напора. (По этой же причине не сработали и автоматические установки УАК-2М для тушения пожаров на приводах

ленточных конвейеров.) Затем была сделана попытка локализовать пожар водяными завесами, создаваемыми с помощью водоразбрызгивателей, при сокращении подачи воздуха в горящие выработки. Однако применение воды в виде компактных и распыленных струй не дало положительного результата из-за плохой смачиваемости сланца и образования термобитума с последующим разложением органических веществ на компоненты, которые способствовали разгоранию пожара. Поэтому в 22 ч 5 мин была использована установка «Вихрь» (рис. 2), предназначенная для длительной и интенсивной подачи огнетушащего порошка (расход 3–4 кг/с) в очаг горения и дистанционного тушения подземных пожаров порошковым облаком со стороны поступающей вентиляционной струи. Однако в первый день подача в конвейерный штрек 4 тонн порошка не привела к локализации или значительному снижению интенсивности пожара, в результате чего он продолжал развиваться.

Малоэффективным оказалось и совместное применение в последующие дни огнетушащего порошка массой до 7 тонн, воздушно-механической пены объемом около 15 тыс. м³ и воды. Для получения воздушно-механической пены высокой кратности была использована пеногенераторная установка ПГУ-200 производительностью 150–180 м³/с (рис. 3). Кратность получаемой на ней пены составляет 400–500 при расходе пенообразователя 4–5 % от расхода воды, поступающей в смеситель под давлением 294 кПа. Использование воздушно-механической пены оказалось неэффективным из-за невысокой производительности пеногенератора и недостаточной устойчивости пены — из-за попадания в нее продуктов горения. Поэтому обстановка на аварийном участке продолжала осложняться: усиливалось обрушение пород кровли, возросло содержание в воздухе оксида углерода (до 0,5 %), водорода (до 0,19 %) и диоксида углерода (до 3,7 %), температура повысилась до 120 °С. Все это полностью исключило возможность доступа к очагам горения для их тушения. Поэтому пожар распространялся дальше по панельным штрекам. Кроме того, загорелся сланец в межштрековых целиках, хотя раньше считалось, что горение сланца в целиках практически невозможно.

Поскольку обстановка на аварийном участке осложнилась, для ликвидации пожара были привлечены значительные подразделения военизированных горноспасательных частей крупнейших угольных бассейнов — Печорского, Подмосковского, Донецкого и Кузнецкого. Эти отряды обладают высокой профессиональной подготовкой и большим опытом тушения пожаров на угольных шахтах.

С учетом особенностей горения сланца, развития пожара и того, что его форсированное активное тушение оказалось невозможным из-за недоступности очагов горения, тактика пожаротушения была изменена. Основной упор был сделан на воздействие на очаги горения инертной парогазовой смесью с низким содержанием кислорода. Эта смесь (51,8 % азота, 40 % водяного пара, 7 % диоксида углерода, 1–2 % кислорода и 0,2 % оксида углерода) предназначена для создания среды с малым

Рис. 2. Устройство установки «Вихрь»: 1 — смешительная камера, 2 — конфузор, 3 — бункер, 4 — крышка, 5 — сетка, 6 — корпус, 7 — диффузор, 8 — вентилятор СВМ-6М, 9 — кольцевой коллектор, 10 — цилиндрическая часть смешительной камеры с перфорацией

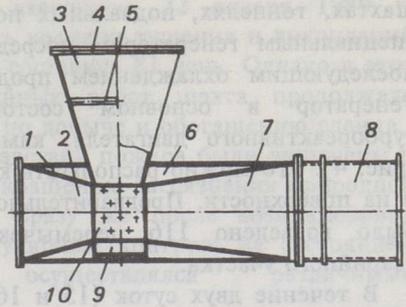


Fig. 2. Schematic diagram of the device "Vikhr": 1 - mixing chamber, 2 - converging tube, 3 - bunker, 4 - cover, 5 - net, 6 - body, 7 - diffuser, 8 - fan SVM-6M, 9 - ring collecting main, 10 - cylindric part of mixing chamber with perforation

Рис. 3. Устройство пеногенератора ПГУ-200: 1 — сетка, 2 — пеногенераторная труба, 3 — центробежный водоразбрызгиватель, 4 — соединительный обод, 5 — вентилятор местного проветривания СВМ-5М, 6 — пеносмеситель, 7 — емкость с пенообразователем

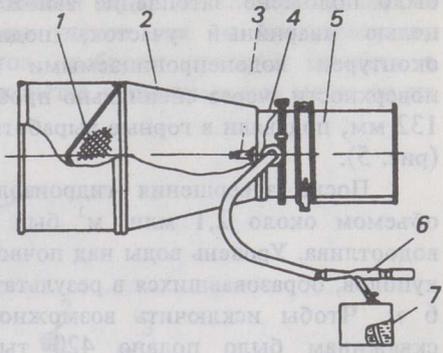


Fig. 3. Schematic diagram of the foam generator PGU-200: 1 - grid, 2 - foam-generating pipe, 3 - centrifugal water sprayer, 4 - coupling rim, 5 - booster fan SVM-5M, 6 - foam mixer, 7 - foaming agent vessel

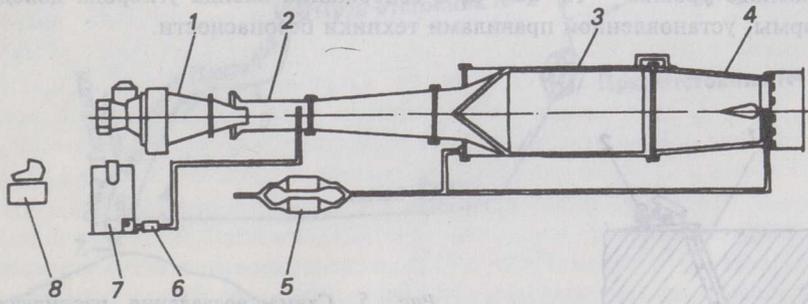


Рис. 4. Принципиальная схема генератора инертных газов: 1 — турбореактивный двигатель, 2 — инжектор-испаритель, 3 — камера дожигания, 4 — камера охлаждения, 5 и 6 — фильтры воды и керосина, 7 — емкость с топливом, 8 — пульт управления

Fig. 4. Schematic diagram of the inert gas generator: 1 - turbojet engine, 2 - injector-evaporator, 3 - secondary burner, 4 - condensation chamber, 5 and 6 - filters for water and kerosene, 7 - fuel vessel, 8 - control desk

содержанием кислорода при тушении пожаров в замкнутых объемах-шахтах, тоннелях, подвальных помещениях и т. п. Она вырабатывается специальным генератором посредством сжигания топлива (керосина) с последующим охлаждением продуктов сгорания водой или пеной [1]. Генератор в основном состоит из соединенных между собой турбореактивного двигателя, камеры дожигания и камеры охлаждения (рис. 4). Его можно располагать как в подземных горных выработках, так и на поверхности. Предварительно в горных выработках шахты «Эстония» было возведено 116 перемычек из бетона и глины для изоляции аварийного участка.

В течение двух суток (15 и 16 декабря) с помощью генератора ГИП-1500 в очаги горения через пробуренную с поверхности скважину было подано 1,5 млн. м³ инертных газов. В результате этого 19 декабря 1988 г. экспертная комиссия зафиксировала факт ликвидации пожара. После этого были начаты мероприятия по устранению его последствий. В их основу было положено затопление запожаренного аварийного участка. С этой целью аварийный участок, подлежащий затоплению, сначала был оконтурен водонепроницаемыми перемычками. Для этого бетон с поверхности, через специально пробуренные заранее скважины диаметром 132 мм, подавали в горные выработки, где уже была установлена опалубка (рис. 5).

После завершения гидроизоляционных работ аварийный участок объемом около 2,1 млн. м³ был затоплен водой, взятой из шахтного водоотлива. Уровень воды над почвой выработок составлял 3,3 м, а высота куполов, образовавшихся в результате разрушения пород кровли, достигала 6 м. Чтобы исключить возможность загорания сланца в куполах, по скважинам было подано 420 тыс. м³ азота. Вследствие затопления аварийного участка температура окружающих пород была снижена до безопасного уровня — 15–80 °С, а содержание оксида углерода доведено до нормы, установленной правилами техники безопасности.

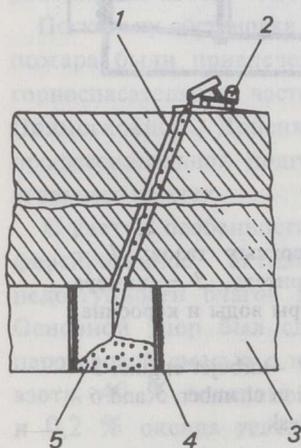


Рис. 5. Схема возведения изолирующей перемычки: 1 — скважина, 2 — бетоновоз, 3 — горная выработка, 4 — опалубка перемычки, 5 — изоляционный материал (бетон)

Fig. 5. Construction of fire seal: 1 - borehole, 2 - ready-mix truck, 3 - mine workings, 4 - formwork, 5 - insulating material (concrete)

В результате выполнения всего комплекса мероприятий устранение последствий пожара было полностью завершено 22 января 1989 г. Следовательно, общая продолжительность времени тушения и ликвидаций последствий пожара на шахте «Эстония» составила 81 день. Однако в этот период наряду с выполнением аварийных работ шахта продолжала основную производственную деятельность по добыче и обогащению сланца.

В комплекс работ по ликвидации последствий пожара были включены и мероприятия по предотвращению или сокращению загрязнения природной среды вредными продуктами горения. Сразу же после возникновения пожара был установлен жесткий и регулярный контроль за состоянием природной среды, который осуществлялся различными специализированными организациями.

Газообразные продукты горения попадали прежде всего в атмосферу шахты, откуда вентиляционная струя выносила их на поверхность. При этом образующиеся вредности значительно разжижались воздухом, который подавался для проветривания горных выработок аварийного участка. В связи с тем, что вентиляционный шурф для отвода из шахты загрязненного воздуха был значительно удален как от промплощадки шахты, так и от населенных пунктов, выбросы вредных веществ в атмосферу не вызвали большого беспокойства и специальные меры по их очистке не принимались.

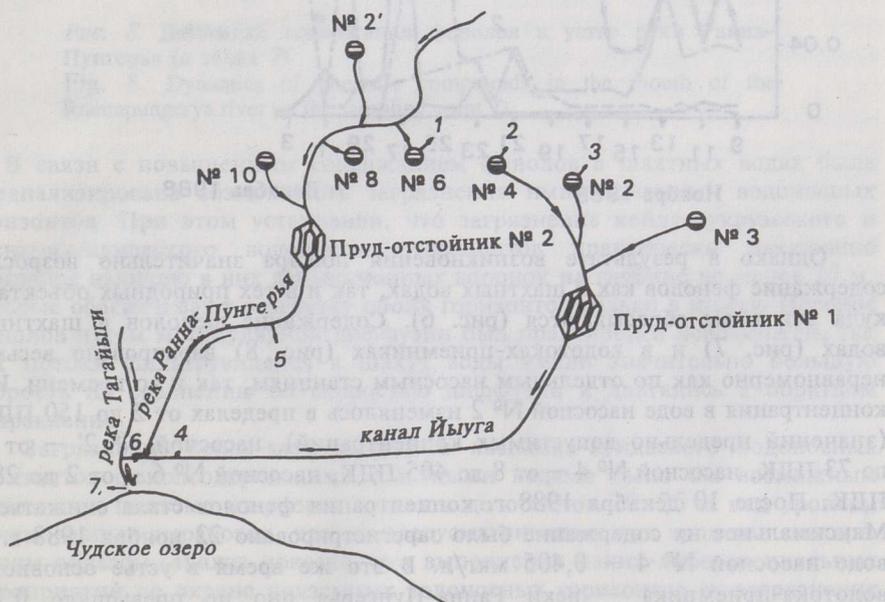
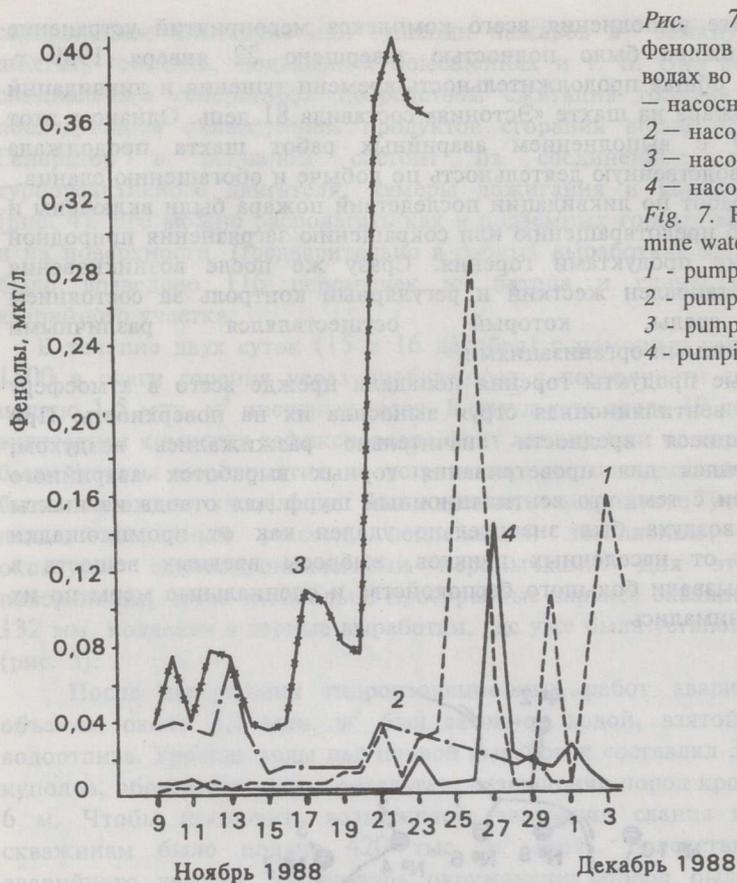


Рис. 6. Схема контроля за состоянием водных ресурсов шахты «Эстония»: знаком «№» обозначены номера насосных станций, курсивом — номера точек отбора проб

Fig. 6. Control over the state of water resources in the "Estonia" mine: the numbers of pumping stations are marked with Nr's, numbers of sampling points are given in italic



Однако в результате возникновения пожара значительно возросло содержание фенолов как в шахтных водах, так и в тех природных объектах, куда эти воды сбрасываются (рис. 6). Содержание фенолов в шахтных водах (рис. 7) и в водотоках-приемниках (рис. 8) варьировало весьма неравномерно как по отдельным насосным станциям, так и во времени. Их концентрация в воде насосной № 2 изменялось в пределах от 2 до 150 ПДК (значений предельно допустимых концентраций), насосной № 2' — от 4 до 73 ПДК, насосной № 4 — от 8 до 405 ПДК, насосной № 6 — от 2 до 285 ПДК. После 10 декабря 1988 г. концентрация фенолов стала снижаться. Максимальное их содержание было зарегистрировано 22 ноября 1988 г. в воде насосной № 4 — 0,405 мг/л. В это же время в устье основного водотока-приемника — реки Ранна-Пунгерья оно не превышало 0,22 мг/л. Максимальный вынос фенолов в Чудское озеро через реку Ранна-Пунгерья во второй половине ноября-начале декабря 1988 г. составлял не более 9,5 кг в сутки. Общий сброс фенолов, входящих в состав шахтных вод, за период интенсивного развития пожара был немногим больше 100 кг, а всего шахтой «Эстония» было сброшено со сточными водами в 1988 г. более 150 кг фенолов, в 1989 г. около 50 кг.

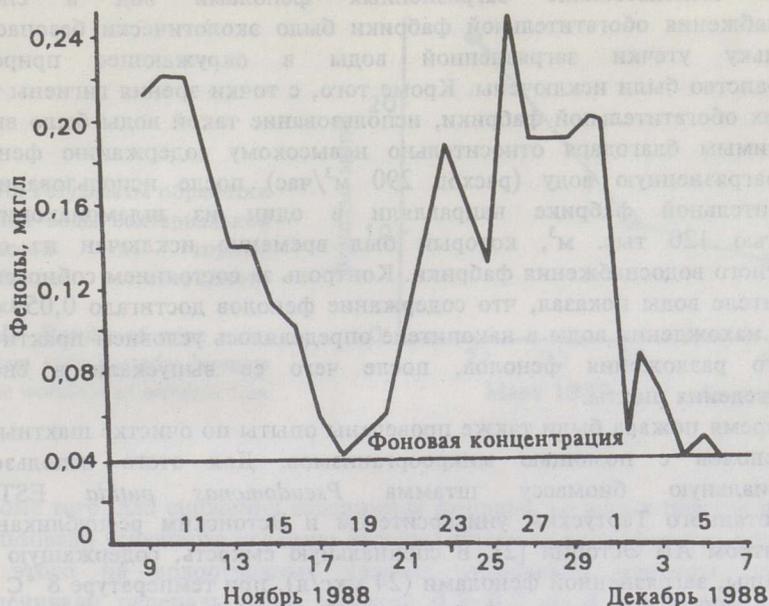


Рис. 8. Динамика содержания фенолов в устье реки Ранна-Пунгерья (в точке 7)

Fig. 8. Dynamics of phenolic compounds in the mouth of the Rannapungerya river (at the sampling point 7)

В связи с повышенным содержанием фенолов в шахтных водах была проанализирована возможность загрязнения ими подземных водоносных горизонтов. При этом установили, что загрязнение кейла-кукрузеского и ласнамяэ-кундаского водоносных горизонтов практически исключено благодаря наличию в них депрессионных воронок на глубине не менее 25 м, которые обеспечивают разгрузку обоих горизонтов только в шахту. Перенос фенолов путем молекулярной диффузии был практически невозможен, так как потоки фильтрующей в шахту воды имели значительно большую скорость по сравнению со скоростью диффузии и двигались в обратном направлении.

Загрязнение кейла-кукрузеского и ласнамяэ-кундаского водоносных горизонтов фенолсодержащими шахтными водами было бы возможным только при подъеме их уровня в шахте до отметок 20–25 м над уровнем почвы горных выработок, что не предусматривалось при тушении пожара. Таким образом, анализ показал, что выполнения каких-либо специальных мероприятий по охране подземных водоносных горизонтов от загрязнения продуктами горения не потребовалось.

Следует подчеркнуть, что в период тушения пожара на шахте «Эстония» был осуществлен целый ряд мероприятий, целью которых было снизить содержание фенолов в шахтных водах и уменьшить объемы сброса последних в поверхностные природные объекты. Так, например, значительную часть откачиваемой с аварийного участка загрязненной фенолами воды направляли на подпитку замкнутой системы оборотного водоснабжения сланцевой

шахты. Использование загрязненных фенолами вод в системе водоснабжения обогатительной фабрики было экологически безопасным, поскольку утечки загрязненной воды в окружающее природное пространство были исключены. Кроме того, с точки зрения гигиены труда рабочих обогатительной фабрики, использование такой воды было вполне допустимым благодаря относительно невысокому содержанию фенолов. Всю загрязненную воду (расход 290 м³/час) после использования на обогатительной фабрике направляли в один из шламонакопителей емкостью 120 тыс. м³, который был временно исключен из схемы оборотного водоснабжения фабрики. Контроль за состоянием собираемой в накопителе воды показал, что содержание фенолов достигало 0,059 мг/л. Время нахождения воды в накопителе определялось условием практически полного разложения фенолов, после чего ее выпускали в систему водоотведения шахты.

Во время пожара были также проведены опыты по очистке шахтных вод от фенолов с помощью микроорганизмов. Для этого использовали бактериальную биомассу штамма *Pseudomonas putida* EST9101, разработанного Тартуским университетом и Эстонским республиканским биоцентром АН Эстонии [2]. В специальную емкость, содержащую 1500 тонн воды, загрязненной фенолами (24 мкг/л), при температуре 8 °С было внесено 200 л бактериальной биомассы *Ps. putida* EST9101. В результате содержание фенолов снизилось за первые двое суток в два раза, а через пять суток в четыре раза (рис. 9). Одновременно уменьшилась концентрация сульфатов (со 115 до 51 мкг/л) и ХПК (с 20 до 2,5 мкг О₂/л). Положительные результаты первого опыта сделали возможным опыт по очистке фенолсодержащей воды в естественных условиях, то есть непосредственно в горных выработках аварийного участка после окончания тушения пожара. С поверхности в шахту было введено через скважину 400 л концентрированной бактериальной биомассы. Содержание летучих фенолов определяли в пробах воды, отбираемых на насосной станции № 4. За 13 дней содержание фенолов снизилось с 25 до 9 мкг/л, то есть в 2,8 раза (рис. 10). В результате описанных экспериментов была установлена довольно высокая эффективность использования абсолютно непатогенного для млекопитающих и растений бактериального штамма *Ps. putida* EST9101 для очистки вод, загрязненных фенолами [2].

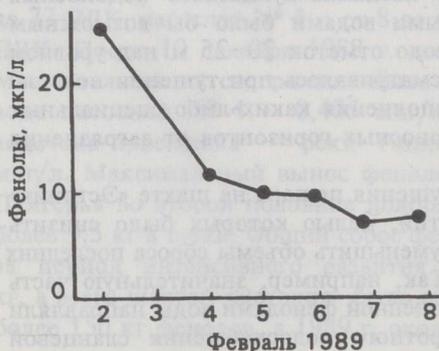
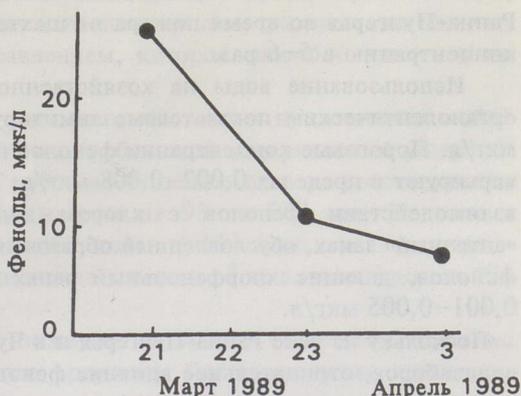


Рис. 9. Воздействие бактериальной биомассы на содержание фенолов в воде в первом опыте

Fig. 9. Effect of bacterial biomass on phenol content of mine water during the experiment No. 1

Рис. 10. Результаты обработки шахтной воды бактериальной биомассой в горных выработках аварийного участка

Fig. 10. Results of mine water treatment with bacterial biomass in mine workings of accident area



Кроме того, для снижения содержания фенолов, во время пожара широко использовали усиленную аэрацию загрязненных вод атмосферным воздухом. Для этого на водоотводных канавах устраивали плотины, которые обеспечивали перепады воды высотой 0,5–0,7 м. В результате аэрации содержащиеся в шахтных водах фенолы окисляются и затем разлагаются. Более эффективное окисление фенолов в загрязненных водах может быть обеспечено озонированием, однако для этого требуется специальное оборудование, и это значительно осложняет проведение работ.

При определении возможного влияния фенолов на экосистему природных водных ресурсов следует прежде всего не упускать из виду то, что они постоянно присутствуют в природных поверхностных водах. Это обусловлено разложением отмершей растительности — водорослей, грибов, мхов, папоротников и др. Известно, например, что 1 г торфа может дать при распаде 66 мкг, а 1 г старичного ила — 21 мкг летучих фенолов. В природных водах, как правило, существует определенное фенольное равновесие, которое определяется процессами разрушения и образования фенолов в результате жизнедеятельности бактерий. Естественным фоном для природных водных объектов считается 0,003–0,015 мкг фенолов на 1 л воды.

Поскольку сток водотоков в районе шахты «Эстония» формируется в лесистой и болотистой местности, в природной воде отмечается повышенная концентрация фенолов, что также обуславливает их высокое содержание в воде Чудского озера. По данным Эстонского управления Госкомгидромета, их содержание в Чудском озере колеблется от 0 до 0,22 мкг/л.

Безусловно, в последние годы загрязненность фенолами водных объектов северо-восточной части Эстонии возросла из-за повышенного выброса фенолов через дымовые трубы тепловых электростанций и сланцеперерабатывающих предприятий. Максимальный уровень фенолов обычно отмечается в осенний период, когда происходит наиболее интенсивное разложение отмирающих растений. Можно считать, что средняя фоновая концентрация фенолов в Чудском озере составляет 0,003–0,004 мкг/л, то

есть 3–4 ПДК. Таким образом, максимальное содержание фенолов в реке Ранна-Пунгерья во время пожара на шахте «Эстония» превышало фоновую концентрацию в 5–6 раз.

Использование воды на хозяйственно-питьевые нужды определяется органолептическим показателем, лимитирующее значение которого 0,001 мг/л. Пороговые концентрации фенолов по запаху зависят от их состава и варьируют в пределах 0,002–0,008 мг/л. Также следует отметить, что при взаимодействии фенолов с хлором вода приобретает специфический «аптечный» запах, обусловленный образованием хлорфенолов. Концентрации фенолов, дающие хлорфенольный запах в воде, находятся в интервале 0,001–0,005 мг/л.

Поскольку на реке Ранна-Пунгерья и в Чудском озере нет организованных водозаборов, отрицательное влияние фенолов проявляется в основном в их воздействии на гидробионтов. Многие исследования показывают, что дозы фенолов в пределах 5–15 мг/л стимулируют развитие водорослей и фотосинтез хлореллы за счет ускорения деления ее клеток. При таких дозах обычно происходит накопление биомассы водорослей. Водные насекомые и паукообразные выдерживают содержание фенолов от 4 до 2000 мг/л, а двухстворчатые моллюски — до 25 мг/л. Наиболее чувствителен к фенолам зоопланктон, который не выдерживает концентраций более 0,1 мг/л.

Весьма чувствительны в этом отношении и рыбы. Причем токсическое действие фенолов зависит от вида рыб и их возраста. В порядке уменьшения устойчивости к фенолам виды рыб можно расположить следующим образом: карась, плотва, линь, налим, лещ, щука, ерш, ручьевая форель, радужная форель. Концентрация, вызывающая летальный исход, составляет для карася 50–200 мг/л, для плотвы, пескарей и уклейки 17–20 мг/л, для карпа, угря, щуки, окуня и форели 5–10 мг/л. Установлено также, что чем моложе рыба, тем она более устойчива к фенолам. Кроме того, зимой рыбы значительно устойчивее к фенолам, чем летом — из-за снижения уровня обменных процессов [3].

Сравнение приведенных данных с максимальными концентрациями фенолов, зарегистрированными при пожаре на шахте «Эстония», показывают, что в результате пожара не могло возникнуть серьезных или необратимых последствий в экосистеме реки Ранна-Пунгерья или Чудского озера. Это подтверждается и тем, что ни во время пожара ни после него не было отмечено ни одного случая массовой гибели рыб или других живых организмов в реке Ранна-Пунгерья или в Чудском озере. Следует добавить, что в водоотводных каналах шахты «Эстония» с шахтной водой водятся и раки, которые относятся к индикаторам чистоты воды. В Институте зоологии и ботаники АН Эстонии были тщательно исследованы особи радужной форели массой до 1 кг, выращенной в садке, расположенном в водотоке с шахтными водами шахты «Эстония» [4]. Вся рыба была нормальной упитанности, хорошо подготовлена к зимовке и весеннему нересту, без изменений морфологии внутренних органов и без опухолей. Однако повышенное содержание фенолов в воде в период пожара на шахте «Эстония» вызвало у некоторых экземпляров рыб хроническую стрессовую

реакцию, которая проявлялась в повышении уровня гемоглобина, нарушении функции эритроцитов и незначительном разрушении клеток, что объясняется фенольным отравлением, которое способно влиять и на показатели продуктивности рыб.

В целом подземный пожар на шахте «Эстония» представляет собой крупную и сложную аварию, повлекшую большой материальный ущерб. В процессе выполнения комплекса работ по тушению пожара с поверхности было пробурено 213 скважин диаметром от 93 до 960 мм. По ним в аварийные горные выработки было подано 140 тыс. м³ воздушно-механической пены, 14 тыс. м³ диоксида углерода, 7 тыс. тонн песка и 404 тонны золы-уноса.

Общий ущерб, связанный с пожаром на шахте «Эстония», составил около 1,5 млн. руб. (в ценах того времени). Государственная комиссия, которая занималась расследованием, не смогла точно установить причины пожара. Этой причиной могло быть воспламенение большого количества горючих материалов, включая и легко воспламеняющиеся жидкости. Не был точно установлен и высокотемпературный источник загорания горючих материалов.

Выводы

1. Пожар на шахте "Эстония" не был своевременно пресечен из-за отсутствия опыта пожаротушения, а также целого ряда нарушений, ошибок и упущений в начальный период его тушения. При пожаре, в аварийных горных выработках шахты с анкерной крепью резко снизилась устойчивость кровли и начали обрушаться горные породы, в результате чего возникла опасность травмирования горноспасателей. Обрушенные и нагретые породы кровли аккумулировали большое количество тепла, и под ними сохранялись очаги горения, для тушения которых требовался большой расход воды.

2. Тушение пожара было осложнено неэффективным применением порошковых огнетушащих средств, что было обусловлено, во-первых, недоступностью очагов горения, а во-вторых, образованием термобитума и продуктов термического разложения сланца в процессе его горения, взаимодействие которых с компактными струями воды приводило к выбросам битума и усилению горения.

Наиболее эффективным способом тушения крупного подземного пожара оказалось дистанционное воздействие на очаги горения инертной парогазовой смесью с последующим затоплением аварийного участка.

Горящий сланец, превращающийся в термобитум, целесообразно тушить и распыленными струями воды в сочетании с воздушно-механической пеной — при условии, что исключена возможность попадания в них продуктов горения сланца.

3. В условиях высокой обводненности сланцевых шахт Эстонии наиболее опасно загрязнение шахтных и поверхностных природных вод фенолами, которые образуются при подземных пожарах в результате термического

разложения сланца и других горючих материалов. Максимальное их содержание в природных водных объектах превышало уровень ПДК в 22 раза, а фоновую концентрацию — в 5–6 раз. Снизить уровень фенолов, образующихся при пожаре, в шахтных водах целесообразно при помощи специальных штаммов микроорганизмов, которые способны утилизировать фенолы, за счет аэрации фенолсодержащих вод в водоотводных канавах, а также путем их отстоя в специальных водонепроницаемых емкостях перед выпуском в природные водные объекты. Поступление фенолов в Чудское озеро, вызванное пожаром на шахте «Эстония», не могло привести к серьезным необратимым последствиям в его экосистеме благодаря тому, что их максимальные концентрации были значительно ниже летальных значений для наиболее чувствительных гидробионтов — рыб, раков и др.

UNDERGROUND FIRES IN OIL SHALE MINES: SPECIAL TRAITS OF THEIR SPREADING, EXTINGUISHING AND LIQUIDATING OF CONSEQUENCES

E. PARAKHONSKY

Summary

Danger of catching fire in oil shale underground mines has considerably increased lately because of essential increase in mechanization level and frequent violation of fire-safety regulations. The largest underground fire in Estonia took place in the most mechanized mine "Estonia" in the end of 1988 and lasted 81 days. The fire started in one of the conveyer drifts where two belt-conveyers with rubber-rope belts and a fire pipeline were installed. At the start of the fire and beginning of extinguishing work this pipeline contained no water. Driving heads of these conveyers were installed with automatic extinguishing equipment and with different primary means against fire.

When the first group of the Johvi military mine-rescue squad reached the mine they established that the conveyer drift, pillars and a part of rail drift between them were caught by fire. The conveyer belt, oil shale and feeds of conveyer drives were burning. The flame had propagated about 350 metres along the rail and conveyer drifts but the smoke had spread 4 kilometres already. Air temperature near the burning area was about 40-60 °C, rocks from the roof supported by pillars had crashed down. The mine air was polluted by combustion products. Powder fire-extinguishers and water jets did not enable to put out the fire due to the inaccessibility of fire centres, low wettability of burning oil shale and formation of flammable components from burning shale which promote fire. Both high-efficiency extinguisher "Vikhr", ment to produce an ample powder supply in the centre, and an air-mechanical foam were ineffective, too. The use of an inert steam and gas mixture with low oxygen content gave best results. In order to extinguish the fire, 1.5 million m³ of this mixture made in special generators were directed through boreholes into the fire. Thereafter the emergency area was isolated with watertight coffer-dams and flooded to the height of 3.3 metres. For preventing the inflammation of oil shale in domes resulting from downfall of rocks, 420,000 m³ of nitrogen was fed in through boreholes, too.

The fire caused a noticeable pollution of mine and surface waters with phenols formed at oil shale combustion. Their limit concentration was exceeded for more than 400 times. To decrease this number, an intensive saturation of waters with atmosphere air was started. For this purpose special dams were constructed on water-diversion ditches ensuring a 0.5-0.7 m difference in water levels. Nevertheless, the phenol concentration in Rannapungerya River and Lake Peipsi still exceeded the normal level 5-6 times. However, the actual maximum concentration of phenols was considerably lower than the lethal doses for fish and other water organisms. Their mass extinction in the river or in the lake was observed neither during nor after the fire. One may conclude the throwout of phenols into natural waters did not lead to serious irreversible changes in ecosystems of Lake Peipsi and its hydrosphere.

On the whole the underground fire in "Estonia" mine represented a large-scale and complicated accident with great material losses, estimated to reach 1.5 million roubles at the prices of 1989. Nevertheless, the proper reasons of the fire were not cleared up by the investigation.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гладков Ю. А.* Аппараты, приборы и оборудование горноспасательной службы : Каталог / ЦНИЭИуголь. — Москва, 1981.
2. *Хейнару А. Л.* Применение бактериальной биомассы для очистки фенолсодержащих шахтных вод после пожара на шахте «Эстония» // Влияние шахтных вод на природные водные объекты северо-востока Эстонии : Мат. сем. / Под ред. Э. Парахонского. Кохтла-Ярве, 1991. С. 32–37.
3. *Лукьяненко В. И.* Экологические аспекты ихтиотоксикологии. — Москва, 1987.
4. *Краузе Т., Тувикене А., Пальм В.* Об оценке биологического состояния радужной форели, выращенной в шахтных водах, по морфологическим и гематологическим показателям // 75 лет сланцедобычи в Эстонии : Тез. докл. науч.-техн. конф. (г. Кохтла-Ярве, август 1991 г.). Таллинн, 1991. С. 105–109.

Представил К. Э. Уров

Presented by K. Urov

Поступила в редакцию 18.03.1992

Received March 18, 1992



West portal of Valjala church (13th century) at Saaremaa, Estonia