

УДК 553.93:556.334

О ТРАНСФОРМАЦИИ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА ПОД ВЛИЯНИЕМ ЗАТОПЛЕНИЯ КАМЕННОУГОЛЬНЫХ ШАХТ

Мохов А. В.

(ИАЗ ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Наведено результати досліджень впливу умов затоплення вугільних шахт на структуру та напружено-деформований стан порідного масиву, розповсюдження шахтових вод та випадки катастрофічного прориву води. Виявлено недоліки і визначено можливі напрямки подальшого дослідження.

We present the results of research in the impact of the flooding of coal mines on the structure and stress-strain condition of rock mass, propagation of mine waters and water outburst accidents. The shortcomings are determined and feasible directions of prospective research are defined.

Затопление горных выработок сопровождается различными явлениями, которые указывают на возможность преобразований ряда характеристик геологического пространства. Региональные масштабы, интенсивность и яркость эти преобразования приобрели в ходе массовой ликвидации сотен угледобывающих предприятий, осуществленной в России и других странах СНГ в 1990-2000-х гг. Их причинно-следственная связь с затоплением несомненна и сопряжена в той или иной степени с трансформацией сплошности и напряженного состояния горного массива.

Ликвидация каменноугольных шахт породила перетоки воды через практически непроницаемые породные толщи, сейсмические и другие события.

Случаи трансформации горного массива вокруг затопленных шахт до недавнего времени практически не привлекали внимание исследователей, не распознавались или не замечались ими.

В числе причин такого положения дел может быть названо резкое сокращение натуральных и теоретических исследований различных процессов в недрах и на земной поверхности, сопровождающих ликвидацию предприятий с затоплением горных выработок, потенциальная полигенетичность многих эффектов, снижение уровня компетентности специалистов и исследователей.

Другие более глубокие причины преимущественно научно-методического плана становятся понятны в ходе анализа сущности обнаруженных явлений.

Ряд нетривиальных литогидрогеомеханических эффектов как индикаторов трансформации структуры, состояния и свойств горного массива обнаружены нами и получили первое системное, не имеющее аналогов объяснение в публикациях, например, в [1-5]. На этой основе автором статьи создан ряд качественных и полуколичественных моделей поведения породной среды вокруг затопленных выработок под влиянием появления в недрах крупных полостных водных объектов.

О процессах внутри горного массива приходится делать выводы преимущественно на основе случайных и косвенных сведений, опираясь на известную или предполагаемую корреляцию напряженно-деформированного состояния (НДС), других свойств и характеристик породной среды с различными событиями. Особую ценность в этой связи имеют гидрогеологически значимые явления.

В настоящей статье рассматриваются данные о трансформации массива у подземных водных объектов в выработках каменноугольных шахт на материалах Восточного Донбасса, выясняются ее направленность, характеристики и особенности.

В ходе наших исследований выявлены:

- перетоки шахтных вод из затопленных шахт в действующие по практически непроницаемым в естественных условиях и при эксплуатации породным толщам;
- самопроизвольное скоротечное распространение шахтных вод в недрах на значительные расстояния;

- скачки уровня подземных вод;
- сейсмические события.

Эти эффекты оказались непрогнозируемыми в рамках известных литогидрогеомеханических моделей.

Существование этих эффектов, являющихся результатом спонтанных скрытопротекающих процессов, практически не учитывается механикой горных массивов, гидрогеомеханикой и гидрогеологией в «традиционном» виде и в этой связи должно стать информационным толчком для развития данных сегментов знаний.

В этой связи представляют особый интерес материалы о поступлении шахтных вод из затопленных шахт в действующие.

Зафиксирован случай неожиданного поступления притока через ранее водонепроницаемый барьерный углепородный целик из ликвидированной шахты «Несветаевская» в шахту «Соколовская». Переток развился с существенным отставанием от начала подтопления основания целика. Его расход имел пульсирующий характер, будучи способным, например, в суточном разрезе резко увеличиться (с 60 до 200 м³/ч), затем снизиться (до 150), а на следующие сутки вновь возрасти (до 175 м³/ч). Импульсы происходили в условиях изменения и, в частности, постепенного ослабления гидростатического давления на целик.

Подобный режим перетока должен быть объяснен быстрым приращением и, напротив, снижением проницаемости пород целика. Развитие перетока связано с приобретением массивом высокой водопроницаемости в результате появления фильтрующих трещин расслоения. Их протяженность может быть оценена величиной около 100 м, а раскрытость – первыми миллиметрами.

По данным шахтных наблюдений переток происходил по слоям песчаника, что подтверждают результаты межскважинной электроинтроскопии целика [6].

Стабилизация или увеличение притока при существенном снижении уровня затопления подтверждают обоснованность вывода о пульсации трещинообразования, а также свидетельствуют о проявлении триггерного эффекта.

Эти материалы иллюстрируют возможность образования трещин в вялотекущем режиме и со слабовыраженным обострением.

Типологически близкой является трансформация массива на соседней шахте «Западная», где имели место оба эти случая, а также образование трещин в режиме весьма сильного обострения, проявившиеся в росте притока, а затем и поступлении прорывов воды в шахту (в феврале, октябре-ноябре 2003 г.). Источником поступления основных объемов воды явились затопленные выработки и выработанное пространство на вышележащих пластах старых шахт, где на площади свыше 100 км² сформировался глубокий весьма крупный водный объект.

Перетоки в шахту «Западная» происходили по стволам, проходящим сквозь породную толщу с затопленными выработками. Особенно значительные водопроявления наблюдались в стволах блокового вентиляционного № 1 и главном стволе № 2, находящихся у наиболее глубокой части водного объекта и отделенных от затопленного пространства целиками.

Притоки воды развились уже в ходе формирования данного водного объекта. Резкое приращение слабых водопоявлений (в главном стволе № 2 достигших 90 м³/ч) началось с отставанием от нового этапа затопления старых шахт. Поступления воды имели рассредоточенный внутри стволов и пульсирующий характер вне связи с ходом гидрометеорологических факторов. Отмечалась миграция пунктов выхода воды, а также несинхронность их динамики в различных стволах.

Импульсы притока, как и для рассмотренной выше ситуации у барьерного целика, могут быть объяснены здесь периодическим образованием и пульсацией сечения водопроводящих трещин в различных частях ствола.

В течение 2003 г. произошли два крупных прорыва воды в шахту через стволы блоковый вентиляционный № 1 (февраль) и главный ствол № 2 (октябрь-ноябрь). Второй из них приобрел широкую известность своими катастрофическими последствиями.

Если начальная стадия первого прорыва продолжалась около 1 месяца и он, развиваясь довольно медленно, поступал пона-

чалу по раскрывавшейся рывками визуально фиксировавшейся трещине, то формирование второго прорыва с выходом на максимальный дебит (до 50000 м³/ч) заняло не более нескольких десятков секунд-первых минут, имело скрытый характер и его поступление оказалось внезапным. Особенности водопроявлений указывают на поступление воды по новообразованным каналам полостного типа.

Оба прорыва имели прерывистый характер, представляя собой цепочку импульсов притока (не менее 5 у первого и около 20 у второго прорыва), периодически возрастающего до 10-15 м³/с и снижающегося практически до нуля в течение нескольких минут или десятков секунд. Период пульсации второго прорыва составлял 2-3 часа. Режим водопроявлений показал, что прорывопроводящие трещины в ходе второго прорыва и на зрелой стадии первого пребывали в состоянии высокой раскрытости, затем быстро смыкались.

Подобный режим имел место, как до начала, так и в ходе засыпки стволов породным и иным материалом, осуществляемой для борьбы с прорывом. Прекращение прорывов произошло в силу естественных причин.

Периодические пиковые значения дебита достигались в условиях понижения уровня затопления. Снижение притока в конце первого прорыва происходило на фоне его подъема и имело ступенчатый характер.

Подобный режим притока отражает прерывистость формирования каналов его поступления, колебания их живого сечения и местоположения во времени. По нашим оценкам средняя раскрытость канала трещинного типа составляла не менее 10 см, протяженность его наиболее зияющей части – не более 150 м вдоль напластования.

На основе суммы данных сделан вывод, что эти трещины приурочены к слоям песчаников. Такое тяготение связано со склонностью песчаников к концентрации напряжений сжатия и их быстрому высвобождению. Зарождаясь у самой глубокой части водного объекта, трещины распространились отсюда по напластованию, а также, по-видимому, от почвы к кровле проводящего слоя.

Стабильность пиковых значений притока служит признаком равнораскрытости прорывопроводящих трещин и соответственно равенства периодических механических воздействий.

Выяснение причин трещинообразования при затоплении даёт основание для заключения о том, что образующиеся полости наиболее крупных размеров концентрируются в способных накапливать механические напряжения породных телах, которыми в углевмещающих массивах являются обычно слои песчаников.

Анализ приведенных данных (шахты «Западная», «Несветаевская», «Соколовская») выявляет нелинейность трещинообразования, существование бароградиентных и временных условий его старта.

Первый порог соответствует глубине затопления 60-70 м длительностью несколько лет. Его преодоление вызывает формирование трещин невысокой раскрытости и поступление относительно небольших постепенно нарастающих притоков. Второй порог отвечает глубине и продолжительности затопления около 100-110 м и продолжительности 7-8 месяцев, это превышение вызывает образование трещин средней раскрытости и значительный водоприток. Третий порог, определяющий условия формирования прорывопроводящих трещин, соответствует глубине затопления около 160-170 м; для его реализации необходимо время контакта массива с водным объектом продолжительностью около 13 месяцев.

Таким образом, трещинообразование развивалось по качественно различным сценариям: от весьма вялотекущего (при затоплении ниже первого порога) и вялотекущего (при преодолении первого порога на указанных шахтах) до режимов умеренного и резкого обострения (при преодолении второго и третьего порогов соответственно – на шахте «Западная»).

Появление трещин и пульсирующий характер их зияния могут быть вполне надежно объяснены особенностями реакции горного массива на осушение и вторичное водонасыщение. Рассмотренные события обладают явным типологическим сходством, практически тождественностью, а эффекты могут рассматривать-

ся как реализация процессов естественного гидроразрыва и гидрорасчленения массива.

Отметим необходимость рассмотрения параллелей с геомеханическими событиями, характерными для участков размещения крупных водохранилищ.

При их заполнении, либо, напротив, уменьшения запасов воды в них отмечаются землетрясения магнитудой до 6,5 единиц, возникновение которых четко коррелирует с уровнем заполнения водохранилища водой и темпом его изменения. Сейсмическая активность проявляется или нарастает здесь, когда глубина водохранилища превышает 90–100 м (при объёме более 10 км³), а также связана со скоростью повышения или понижения уровня. Эпицентры сейсмопроявлений постепенно смещаются к центру нагрузки от воды в водоёме, их вероятность тем выше, чем больше площадь водохранилища [7].

Таким образом, имеется аналогия в поведении породного массива на рассмотренных горных объектах и вокруг крупных водохранилищ, в том числе близость пороговых значений глубины затопления шахты и заполнения водохранилищ для начала довольно интенсивного водопроводящего трещинообразования в первом случае, землетрясений – во втором (и в том и другом случае около 90–115 м).

Имеются и другие признаки трансформации массива вокруг подземных водных объектов, в частности, сейсмические события, явно отражающие изменение его напряженного состояния. Сотрясения территории у затопленных шахт являются обычным явлением, например, в Кузбассе.

В ходе второго прорыва в выработках шахты «Западная» отмечены сильные, подобные горным ударам сотрясения массива у главного ствола № 2. Они предшествовали поступлению оттуда очередного импульса притока и явно фиксировали возникновение прорывопроводящих трещин.

Известны и другие явные признаки динамизма НДС. К ним правомерно отнести скачки уровня затопления отдельных выработок шахт, которые зафиксированы, например, в клетевом стволе шахты «Глубокая» (июнь 1999 г., январь 2000 г.). Первый из них произошел на высоту около 67 м, длился не более 1 минуты,

второй – имел несколько меньшую амплитуду и сопоставимую продолжительность. В дальнейшем многократно происходил кратковременный подъем уровня воды в стволе амплитудой до 6 м.

Тот же характер имеет реакция подземных вод в ходе землетрясений, что позволяет провести содержательную аналогию между этими событиями и указать их непосредственную общую причину – резкие изменения НДС.

Прекращение прорывов на шахте «Западная» в режиме «обрыва» фиксирует как завершение процесса распространения трещин внутри пачки песчаников, так и разрядку напряжений до уровня, недостаточного для формирования прорывоопасных трещинных каналов в других частях массива.

В одном ряду с этими эффектами находится реакция насыпных массивов в стволах: резкое скоротечное снижение уровня породного заполнения в результате его периодического (из главного ствола № 2 в ходе второго прорыва на шахте «Западная») или эпизодического (из вспомогательного ствола шахты им. Ленина) ухода в смежные выработки. Проседание верха заполнителя произошло также в дни (день?) первого скачка уровня воды из расположенного в 330 м от клетового другого ствола шахты «Глубокая». Вероятной причиной такой реакции насыпного массива явилось его псевдооживление под воздействием периодических сотрясений.

Проведенным после первого скачка на шахте «Глубокая» обследованием выявлено разрушение полков в клетевом и соседнем скиповом стволах, бетонного пола соединяющей стволы горизонтальной выработки на сопряжении с ними, «заворот» рельсов в горизонтальной плоскости у клетового ствола. В период скачка местные жители слышали подземный гул и содрогание недр в окрестностях стволов. Аналогичными были ощущения горняков, находившихся в указанной выработке непосредственно в момент скачка уровня затопления.

Разрушение крепи и обрушение пород наблюдались на сопряжениях выработок околоствольного двора главного ствола № 2 шахты «Западная» в ходе второго прорыва воды сюда. Эти

события и их локализация типичны для зон концентрации напряжений, создаваемых динамическими воздействиями.

Пульсация трещинообразования, неоднократные сотрясения массива указывают на цикличное изменение НДС.

Можно предположить, что реализацией этих процессов служит также обнаруженное нами самопроизвольное растекание шахтных вод из глубоко затопленных шахт в западной и восточной частях Восточного Донбасса.

Здесь по изменению минерализации и химического состава подземных вод обнаружены случаи растекания шахтных вод на расстояние до 8 км в течение 1-2 лет, то есть, со средней скоростью до 4-8 км/год. Пункты изменения подземных вод приурочены к слоям-коллекторам (преимущественно песчаникам) и полостям вдоль сместителей разрывных нарушений вне зоны влияния сдвижения в ходе эксплуатации угольных залежей. При этом шахтная вода может подняться выше уровня затопления шахт-водоисточников на десятки метров.

Правомерен вывод о перемещении шахтных вод в угленосной толще по естественным каналам, которые сформировались и/или приобрели под влиянием появления крупного водного объекта повышенную проницаемость. Водный объект обеспечил также появление движущей силы растекания воды, судя по распространению ее гипсометрически выше – в импульсном режиме. Подобный режим НДС ведет к пульсации зияния водовыводящих каналов.

Общей причиной рассмотренных явлений служат, по нашему мнению, силы архимедова взвешивания, возникающие вокруг подземного водного объекта. В целом, разгружая горный массив, они создают поле пульсирующих механических напряжений, разрядка которого сопровождается, в частности, образованием и трансляцией зияющих трещин в дискретном режиме. Правомерен вывод о том, что изменение поля напряжений носит дискретный характер.

Самопроизвольное прекращение прорывов, сокращение крупных перетоков, ослабление дренажа скоплений подземных вод, тенденция упорядоченности и локализации распространения деформаций, релаксации механических напряжений служат про-

явлением саморегуляции трещинообразования в породной среде и, в целом, НДС массива. Они свидетельствуют о способности системы «литогенная основа горного массива – флюиды в пустотах горных пород – подземный водоём» регулировать в автоматическом режиме механические аспекты своего состояния и взаимодействия водного скопления и дрены.

Сущность саморегуляции состоит в противодействии формированию сверхпороговых нарушений пород и напряжённого состояния массива путём диссипации сверхкритических механических воздействий процессами структурообразования.

Анализ натуральных данных показал, что рассмотренные гидролитогеомеханические события имеют определенное типологическое сходство и общий механизм формирования. Они являются результатом реализации неизвестных ранее особенностей изменения напряженно-деформированного состояния горных массивов под влиянием присутствия или формирования в горных выработках крупного подземного водного объекта в виде затопленных выработок (их систем) и хорошо вписываются в единую модель трансформации НДС.

Подобная трансформация имеет триггерный с фазовым отставанием от затопления выработок характер, нелинейна, имеет тенденцию к самоограничению интенсивности и распространения в пространстве.

Учет возможности генерации подобных эффектов для объектов горного производства имеет случайный и несистемный характер, что предопределяет низкое качество изученности и моделей НДС горных массивов. Подобное обстоятельство служит результатом доминирования формально-геометрического и механистического подхода при изучении практически всех процессов в недрах.

Эти выводы представляют интерес для теории геомеханических и гидрогеологических процессов и имеют, в частности, существенное значение при решении вопросов эксплуатации полезных ископаемых вблизи затопленных систем горных выработок.

Выявленные особенности трансформации характеристик горного массива необходимо учитывать при планировании осво-

ения угольных месторождений и мероприятий по охране и реабилитации окружающей среды.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Мохов А. В. О путях профилактики прорывов воды из затопленных каменноугольных шахт / Материалы VII Межд. конференции «Новые идеи в науках о Земле» : Сб. науч. тр. Том 4. М. : КДУ, 2005. — С. 136.
2. Мохов А. В. О водопроницаемости барьерных целиков затопленных угольных шахт // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. Приложение. 2006. № 5. — С. 77—81.
3. Мохов А. В. Трещинообразование под влиянием затопления угольных шахт и его гидродинамическое значение / ДАН, 2007, том 414, № 2. — С. 223—225.
4. Мохов А. В. О прогнозировании гидрогеологических процессов и рисков, вызванных затоплением каменноугольных шахт / Труды Всероссийской конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», посвященной 80-летию ак. М. В. Курлени (3-2 октября 2011 г.) В 2 т. Т. II — Новосибирск : Ин-т горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 2011. — С. 120—124.
5. Мохов А. В. О растекании шахтных вод из затопленных угольных шахт в недрах / ДАН, 2011, том 438, № 4. — С. 494—496.
6. Фоменко Н. Е., Порфилкин Э. Г., Гроссу А. Н. Электроразведочные методы контроля состояния гидросферы в угольных регионах (требования, технологии, результаты) // Научно-методическое обеспечение мониторинга угольных бассейнов и месторождений России : Всерос. науч.-техн. семинар : Сб. науч. тр. — Шахты, 2001. — С. 124—129.
7. Молоков А. А. Взаимодействие инженерных сооружений с геологической средой — М. : Недра, 1988. — 222 с.