

УДК 556.3.06

DOI: 10.23671/VNC.2016.4.20903

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ АНАЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

© 2016 А.В. Мохов, к.г.-м.н.

ФБГУН Институт аридных зон Южного научного центра РАН, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, e-mail: mokhov_av@mail.ru

Ведущей причиной низкого качества прогнозов гидрогеологических условий и последствий освоения угольных залежей подземным способом служит трансформация гидродинамических характеристик и фильтрационной структуры массива в ходе сдвижения горного массива и под влиянием затопления горных выработок. Наиболее эффективным способом разработки прогнозов является использование метода гидрогеологических аналогий. На основе обобщения значительного и разнопланового материала эксплуатации развита научная основа для его применения.

Выявлена аттрактивность ряда гидродинамически значимых последствий трансформации горного массива под влиянием указанных техногенных воздействий, определен ряд аттракторов, что позволяет использовать априорную информацию для целей гидрогеологического прогнозирования на основе минимума геологоразведочных данных.

Ключевые слова: месторождения угля, подземная эксплуатация, ликвидация шахт, водопритоки в горные выработки, геозкологические последствия ликвидации, трансформация проницаемости, аттрактивность процессов и явлений, прогнозирование, метод гидрогеологических аналогий.

Вопросы обеспечения приемлемых гидрогеологических условий освоения угольных месторождений и минимизации, связанных с водной группой факторов отрицательных воздействий на окружающую среду имеют значительную актуальность, особенно, для участков подземных разработок.

Практика свидетельствует о низком качестве прогнозов проявлений водного фактора, слабой управляемости гидрогеологическими условиями эксплуатации. Весьма типичны, в частности, серьезные ошибки в прогнозировании ключевого показателя – величины и локализации притоков воды в горные выработки, возможно расхождение их с фактическими значениями на десятки, нередко – сотни процентов, особенно при управлении горным давлением способом полного обрушения кровли. Многие гидрогеологические события считаются практически не поддающимися прогнозированию и управлению.

Новые проблемы поставила ликвидация угольных шахт. Памятны в этой связи катастрофические последствия серии внезапных прорывов воды в шахту «Западная» («Западная-Капитальная») (Восточный Донбасс) в 2003 г.

Недооценка значения внедрения научных разработок в горное производство, сокращение геологических служб шахт резко снизили безопасность и производительность работ, привели к росту себестоимости угледобычи.

Анализ состояния вопроса показывает, что главными причинами низкого качества прогнозов служат недооценка и проблемность учета изменений свойств гор-

ного массива под влиянием таких факторов как его сдвигание и затопление горных выработок. Эти воздействия приводят к коренному преобразованию проницаемости, ёмкостных свойств и фильтрационной структуры массива [Мохов, 2012].

Изменяя его состояние, техногенные воздействия способны тем самым во многом обесценить результаты выполненных в обстановке естественного залегания или до начала горных работ разведочных исследований.

Проявления такого крупномасштабного процесса как сдвигание пород охватывает горный отвод угледобывающего предприятия. Ему сопутствует резкое возрастание проницаемости (на несколько порядков) и ёмкостных свойств (кратно) пород, устанавливается гидравлическая взаимосвязь удаленных друг от друга на сотни (и более) метров областей горного массива. Максимальной трансформации подвергается, как правило, толща пород над очистными выработками.

Соизмеримое воздействие может оказать глубокое затопление систем горных выработок как спусковой крючок нового этапа трансформации массива.

Весьма яркой иллюстрацией изменений среды служит, например, обнаруженное в Восточном Донбассе резкое и скоротечное возрастание проницаемости пород и градиентов гидравлического напора подземной гидросферы вокруг затопленных шахт, что может привести к перетокам больших объемов шахтных вод в другие выработки (как это произошло на шахте «Западная») [Мохов, 2005; Мохов и др., 2005], импульсному выделению воды на земную поверхность [Мохов, 2005], а также дальнему самопроизвольному растеканию шахтных вод в недрах [Мохов, 2011].

Имеются и другие причины низкой разрешающей способности разведки, в частности, многофакторность формирования свойств массива, неясность технологии получения на основе типового комплекса гидрогеологических исследований расчетных значений фильтрационных и других показателей весьма неоднородных по гидродинамическим характеристикам пород.

В этой связи можно с полным основанием утверждать, что неограниченное увеличение объемов натурных разведочных работ в условиях естественного залегания или до начала эксплуатации не позволит решить основные гидрогеологические задачи освоения угольных залежей. В равной мере это справедливо в отношении минимизации вредных экологических последствий освоения и обеспечения эффективной малозатратной геоэкологической реабилитации районов углеработок.

Таким образом, практика эксплуатации диктует необходимость изменения подхода к решению вопросов разведки угольных месторождений, в том числе, обеспечения прогнозами действующих шахт.

По нашему мнению комплекс практических вопросов может быть решен только на обновленной геоинформационной основе, учитывающей трансформацию природной среды процессами геологоразведочного и горного производства, другими сопряженными воздействиями. Подобный подход предполагает проведение научных исследований природно-технических геосистем «углеразведочный комплекс – горное предприятие – геологическая среда – геоэкологическая обстановка» с выявлением траекторий развития их состояния и важнейших характеристик.

Наиболее пригодным в настоящее время для прогнозирования является по нашему мнению известный «метод гидрогеологических аналогий» в его гидрогеомеханической разновидности, предусматривающий использование на новых объектах опыта горных работ в геологически и горнотехнически близких или, хотя бы, сходных условиях. Этот метод позволяет учесть в комплексе изменения состояния горного

массива и другие характеристики обстановки, влияющие совокупно на величину, место и форму поступления притока воды в действующую, погашенную или будущую горную выработку. Практическое применение метода сталкивается, однако, с серьезными трудностями, ввиду слабой разработанности критериев аналогии природно-технических объектов и, соответственно, проблемности подбора аналогов.

Настоящая статья посвящена развитию данного методического подхода на основе исследований литогидрогеомеханических процессов применительно к условиям пологого и наклонного залегания и ведения очистных работ с полным обрушением кровли. Данное научное направление активно развивается автором статьи.

На основе материалов эксплуатации угольных залежей нами выявлены и исследованы основные закономерности формирования притока подземных вод к горным выработкам, определены фильтрационная структура, проницаемость и емкостные свойства пород горных отводов на стадии эксплуатации и при «мокрой» ликвидации угольных шахт, размещение каналов выделений воды и шахтных газов из систем затопленных выработок.

Выводы автора, сделанные на основе обобщения натуральных материалов о притоках воды в горные выработки, сдвигении горных пород, химическом составе подземных и шахтных вод, уровнях подземных вод в зоне влияния эксплуатации в различных угольных регионах, позволили расширить возможности прогнозирования по аналогии. Дополнительные возможности являются результатом установления ряда литогидрогеомеханических закономерностей и использования исходных данных, которые имеют стабильный и заранее предсказуемый – априорный, характер в условиях весьма широкого круга объектов. Практика разведки и использование разработок в ряде нормативных документов федерального уровня подтверждает правомерность такого заключения.

Расширение научной базы для выводов по аналогии связано, прежде всего, с выявлением повторяемости особенностей гидравлического взаимодействия горных выработок шахт со скоплениями подземных и поверхностных вод: основных геофильтрационных схем окрестностей очистных выработок, характеристик и свойств, условий реализации наиболее существенных элементов этих схем, что открывает новые возможности прогнозирования.

Особое значение имеет выявление характеристик зон водопрводящих трещин сдвига, что дает ключ к решению многих задач гидрогеологического прогнозирования. Эти зоны способны распространиться на сотни метров над выработанным пространством шахты и в сторону от него и служат во многих случаях основными каналами поступления воды в горные выработки и выделения ее оттуда при затоплении шахты. Размещение контуров стока подземных и поверхностных вод к горным выработкам соответствует внешним границам зоны.

Анализ материалов шахтных наблюдений и специальных исследований показал, что зона водопрводящих трещин сдвига имеет ограниченное разнообразие форм. В зависимости от вида определяющих их размеры и водопроницаемость трещин сдвига – объёмнораспределённых, обреза, расслоения и раздвига вдоль сместителей разрывных нарушений – выделен ряд элементарных форм таких зон и указана наиболее распространённая форма в условиях одновременного присутствия трещин объёмнораспределённых и обреза (рис. 1) [Мохов, 2008б, 2015]. Эти данные рекомендуется использовать для оценки будущих условий очистной выемки угля, особенно, вблизи водных объектов.

Большое значение для прогнозирования перетоков воды имеет выявление возможности стабилизации коэффициента фильтрации глинистых пород вквост напластованию в ходе сдвигения на уровне 0,003 м/сутки. Такими свойствами характеризуются слои аргиллитов и алевролитов внутри верхней и средней частей зоны объёмнораспределённых водопроводящих трещин сдвигения над выработанным пространством. Равнопроницаемостью характеризуются здесь пачки породных слоев различного состава и мощности, включающие слои аргиллитов и/или алевролитов и плотных глин, которые обладают явно выраженными буферными свойствами, стабилизируя фильтрационные свойства значительной части массива на пути вертикальных перетоков воды. Проницаемость глинистых слоев внутри зоны водопроводящих трещин сдвигения отвечает данной константе на каменноугольных и бурогольных (а также горючесланцевых) месторождениях различных типов и регионов [Мохов, 2013, 2015]. Внутри зоны на пути фильтрационного потока из водных объектов находятся гидродинамические границы III рода.

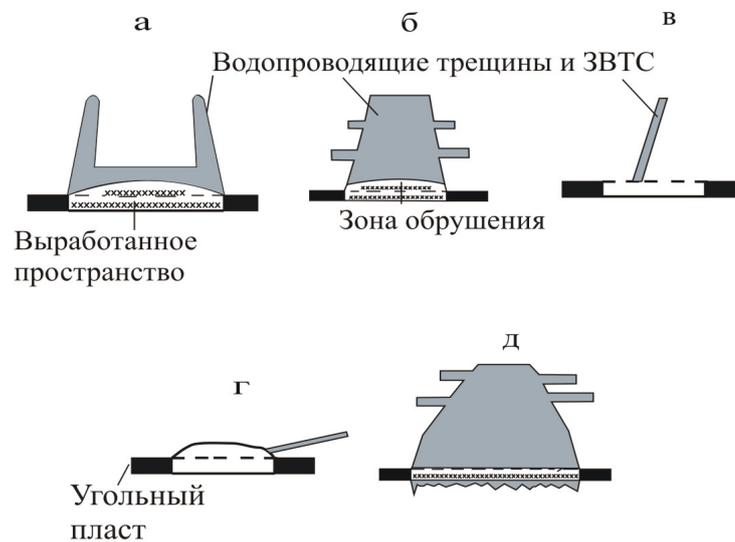


Рис. 1. Формы зон водопроводящих трещин сдвигения (в разрезе) над выработанным пространством в условиях: развития трещин обреза (а); объёмнораспределённых трещин (б); трещин раздвига (в); расслоения (г); наиболее распространённая (д)

На основе данной априорной информации нами разработана серия моделей притока воды в горные выработки из таких подрабатываемых водных объектов как затопленное выработанное пространство на вышележащих угольных пластах.

Стабильность проницаемости связана с упорядоченностью сети и равнораскрытостью торцевых водопроводящих трещин сдвигения как проявлением способности породной среды к саморегуляции своего напряженно-деформированного состояния.

Упорядоченность вторичного трещинообразования установлена нами также в округ глубоко затопленных систем выработок шахт.

На основе данных о прорывах и перетоках воды из затопленных шахт в действующие автором выявлены неизвестные ранее эффекты изменения проницаемости пород вокруг новообразованных крупных водных объектов в недрах.

Обнаружены случаи поступления притоков шахтных вод по свежесформированным трещинам, формирующимся и живущим в пульсирующем режиме, как это имело место, например, на шахте «Западная» в Восточном Донбассе. Прорывы воды (1–4 февраля в блоковый вентиляционный ствол №1 и 23 октября – начало ноября

внезапный в главный ствол №2) поступали из затопленных старых горизонтов шахт, имели пульсирующий дебит от незначительного до $50000 \text{ м}^3/\text{ч}$ с периодичностью 2–3 ч. Каналы поступления прорывов приурочены к слоям песчаников-водоносов, «выходящих» в систему затопленных выработок. Схематический геолого-технический разрез района прорывов воды в шахту «Западная» представлен на рис. 2 (по материалам [Мохов, 2006; Мохов и др., 2005] с изменениями и дополнениями). Трещинообразование связано с разуплотнением пород под влиянием архимедовых сил [Мохов, 2008а, в, 2007, 2015; Мохов и др., 2005] и сопровождалось сильными сотрясениями горного массива.

Выявлено несколько гидростатических (глубина затопления выходов будущих водоносов) и временных (минимальная продолжительность определенного уровня затопления) порогов для запуска процесса водопроницающего трещинообразования в условиях каменноугольных месторождений. Минимально раскрытые, соответственно, мало проводящие пульсирующие трещины возникают при длительном (около 10 лет) затоплении на глубину около 70 м. Другой из порогов отвечает глубине и продолжительности затопления около 100–110 м и 7–8 месяцев соответственно. Его переход приводит к образованию водопроницающих трещин средней степени раскрытости и способен вызвать значительный переток воды в смежные шахты. Третий комплексный порог, определяющий старт формирования прорывопроницающих трещин, соответствует глубине затопления около 160–170 м; для его реализации необходимо время контакта массива с водным объектом продолжительностью около 13 месяцев [Мохов, 2008а, в, 2005, 2015].

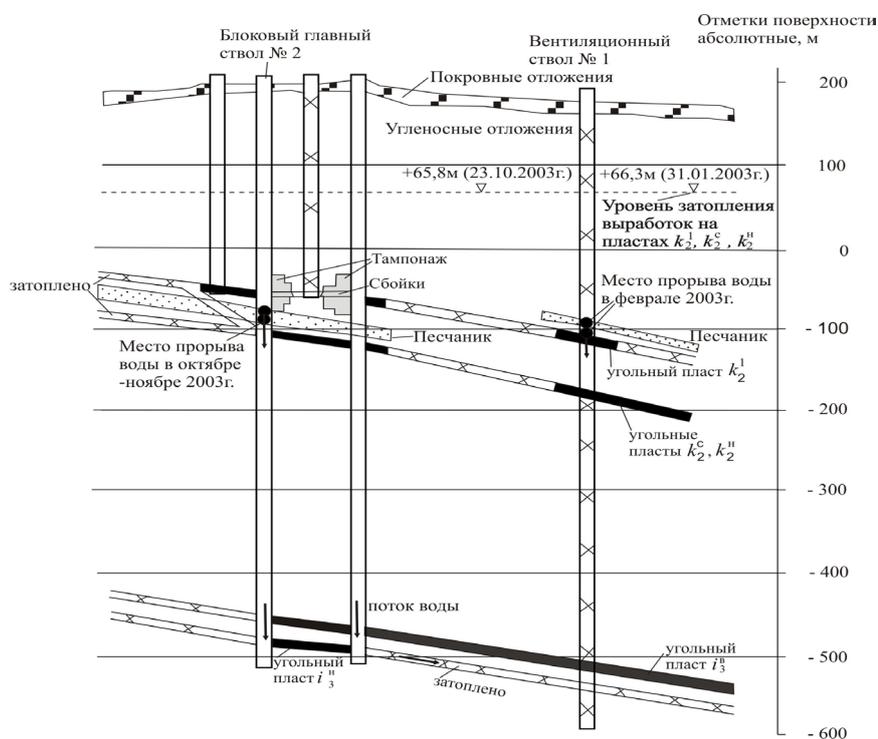


Рис. 2. Схематический геолого-технический разрез района прорывов шахтных вод в шахту «Западная» (Восточный Донбасс) (2003 г.) (по материалам [Мохов, 2006; Мохов и др., 2005] с изменениями и дополнениями)

Эти выводы позволяют оценить прорывоопасность горных работ вблизи затопленных шахт, прорывобезопасную глубину затопления последних.

В пределах горных отводов затопленных шахт также выявлены признаки саморегуляции напряженно-деформированного состояния породной среды [Мохов, 2008в, 2011, 2015].

Выявлены и другие закономерности трансформации породной среды той же природы.

Обнаружена возможность растекания шахтных вод в недрах Восточного Донбасса на расстояние до 8 км со скоростью до 5 км в год и с подъемом воды на высоту до 130 м над уровнем затопления шахты. Вода распространяется по слоям песчаников и, возможно, известняков, зонам разрывных нарушений [Мохов, 2011]. Распространение высоко загрязненных шахтных вод приводит к загрязнению подземной и поверхностной гидросферы, формированию экологически неблагоприятных ситуаций.

Развитие представлений о трансформации горного массива позволило разработать систему эффективных методов оценки прогноза притока и опасности прорывов воды в очистные выработки шахт, прорывобезопасного приближения к водному объекту в плане, определения текущих и потенциальных источников обводнения выработок, возможности дренажа горными выработками конкретного водного объекта, способы определения (измерения) высоты зоны водопродвижения трещин сдвижения, оценки объема воды в системах затопленных выработок, влияния ликвидации шахт на условия освоения смежных угольных залежей, степени водоупорности барьерных целиков, определения геоэкологических последствий эксплуатации и ликвидации шахт и проч.

Поскольку разведка угольных месторождений СНГ фактически прекращена, названные разработки могут быть использованы в сложившихся условиях, прежде всего, на действующих шахтах при решении текущих задач производства. Они могут быть применены также для более точной оценки условий будущих разработок и корректировки государственного баланса запасов угля.

Полученные результаты применялись и могут быть применены, в частности, для:

- прогнозирования притока воды в горные выработки, в частности, находящиеся за барьерным целиком, под затопленными выработками, водоносными горизонтами продуктивных и покровных отложений, водоемами и водотоками на поверхности;
- оценки прорывоопасности очистной выемки системами с обрушением кровли;
- определения источников обводнения горных выработок, путей движения воды в выработанном пространстве и в массиве, в частности, в окрестностях ликвидируемых, либо находящихся на мокрой консервации шахт и разрезов;
- определения причин различных гидрогеологических явлений в горных выработках и на земной поверхности (прорывов воды, подтопления инженерных сооружений и земель, разрушения сооружений и проч.);
- разработки рекомендаций по улучшению гидрогеологических условий, снижению прорывоопасности очистных работ; определению оптимальной в гидрогеологическом и водоохранном отношении схемы разработки месторождения (участка, горного отвода), включая размещение горных выработок;
- оценки возможности и интенсивности дренажа горными выработками рек, озер, морей, иных скоплений воды, последствий подработки водозаборов подземных вод;

– прогнозирования экологических последствий ликвидации и консервации шахт и разрезов;

– прогнозирования пунктов выделения на поверхность шахтного воздуха, шахтных вод, участков и интенсивности подтопления территорий, разработки рекомендаций по мониторингу этих процессов;

– разработки рекомендаций по предупреждению или ослаблению вредных последствий консервации и ликвидации шахт и разрезов с затоплением горных выработок, в частности, по защите инженерных сооружений и природных объектов от вредных процессов;

– восстановления затопленных шахт;

– разработки проектов мониторинга подземных вод, выделений шахтного воздуха на полях и в выработках шахт и разрезов.

Ряд конкретных рекомендаций по прогнозированию приведен в серии публикаций автора [Мохов, 2012, 2008а-в, 2005, 2011, 2013, 2015; Мохов и др., 2005].

Перспективна экстраполяция подхода и конкретных разработок на условия месторождений других полезных ископаемых.

Установленная аттрактивность основных геофильтрационных схем окрестностей очистных выработок, характеристик и свойств наиболее существенных их элементов открывает новые возможности гидрогеологического прогнозирования.

Использование обнаруженных закономерностей позволяет снизить зависимость прогнозов от разведочных натурных исследований, уменьшить объемы и разнообразие последних до разумного минимума, что доказано в практических приложениях.

Продуктивность развиваемого подхода свидетельствует о перспективности проведения исследований по выявлению закономерностей трансформации гидродинамических характеристик горного массива в ходе освоения угольных залежей и по его завершению.

Литература

1. Мохов А.В. О путях профилактики прорывов воды из затопленных каменноугольных шахт // В сб. Материалы VII Межд. конференции «Новые идеи в науках о Земле». Т. 4. – М.: КДУ, 2005. – С. 136.

2. Мохов А.В. Трещинообразование под влиянием затопления угольных шахт и его гидродинамическое значение // Доклады РАН. – 2007. – Т. 414, №2. – С. 223–225.

3. Мохов А.В. К вопросу о трансформации горного массива под влиянием затопления каменноугольных шахт // Маркшейдерия и недропользование, 2008а. – №5. – С. 44, 49, 50.

4. Мохов А.В. Морфология зон водопроводящих трещин сдвижения на участках подземных разработок каменноугольных залежей // Горный информац.-аналитич. бюлл. – М.: Моск. гос. горн. ун-т, 2008б. – №1. – С. 273–281.

5. Мохов А.В. О путях предотвращения прорывов воды в горные выработки из затопленных каменноугольных шахт // Технологии граждан. безопасн., 2008в. – №1–2 (15–16). – С. 188–193.

6. Мохов А.В. О растекании шахтных вод из затопленных угольных шахт в недрах // Доклады РАН. 2011. – Т. 438, №4. – С. 494–496.

7. Мохов А.В. Гидродинамическая эволюция пустотного пространства каменноугольных шахт под влиянием затопления // Вестник Южного научного центра РАН.

2012. – Т. 8, №3. – С. 42–49.

8. Мохов А.В. О проницаемости горных пород в зоне сдвижения на каменноугольных месторождениях (по материалам подработок затопленных выработок) // Доклады РАН, 2013. – Т. 452, №3. – С. 300–302.

9. Мохов А.В. Трансформация гидродинамических характеристик горного массива на участках освоения каменноугольных залежей подземным способом: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 25.00.16. – Ростов-на-Дону, 2015. – 40 с.

10. Мохов А.В., Калинин В.М., Фролов А.В. Анализ причин и механизма прорыва воды в шахту «Западная» ООО «Компания «Ростовуголь» // Безопасность труда в промышленности, 2005. – №11. – С. 11–16.

DOI: 10.23671/VNC.2016.4.20903

SOME ASPECTS OF USING THE METHOD OF HYDROGEOLOGICAL ANALOGIES FOR SECURING INDUSTRIAL ASSIMILATION OF COAL DEPOSITS BY UNDERGROUND MINING

© 2016 A.V. Mokhov, Sc. Candidate (Geol.-Min.)

Institute of Arid Zones of SSC RAS, Russia, 344006, Rostov-on-Don, Chekhov Ave,
41, e-mail: mokhov_av@mail.ru

The leading cause of low quality of forecasts of hydrogeological conditions and consequences of the underground coal deposits assimilation is transformation of hydrodynamic characteristics and filtration structure of the mass in the course of rock mass subsidence and under influence of mine workings flooding. The most effective way of the forecasts development is using of the method of hydrogeological analogies. The scientific base for its using has been developed on the foundation of generalization of significant and multilateral material on exploitation.

The attractivity of a number of hydrogeologically significant consequences of the rock mass transformation under influence of appointed technogenous impacts is revealed, a number of attractors is determined, what allows to use an a priori information for purposes of hydrogeological forecasting on the base of minimal geological-prospecting data.

Keywords: coal deposits, underground exploitation, liquidation of mines, water inflows into the mine workings, geoecological consequences of liquidation, transformation of permeability, attractiveness of the processes and phenomena, forecasting, method of hydrogeological analogies.