УДК 624.131:622.271

Н.А.КУТЕПОВА, *д-р техн. наук, гл. научный сотрудник, koutepovy@mail.ru*
Ю.И.КУТЕПОВ, *д-р техн. наук, проф., зав. лаб., koutepovy@mail.ru*
А.Н.ШАБАРОВ, *д-р техн. наук, директор Научного центра – проректор,*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

N.A.KUTEPOVA, *Dr. in eng. sc., Chief Research Fellow, koutepovy@mail.ru*
Y.I.KUTEPOV, *Dr. in eng. sc., Head of Lab, koutepovy@mail.ru*
A.N.SHABAROV, *Dr. in eng. sc., Director of Research Center – Vice Rector*
National Mineral Resources University (University of Mines), Saint Petersburg

МОНИТОРИНГ ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ ШАХТ АНЖЕРО-СУДЖЕНСКА

Рассмотрена система организации маркшейдерских и гидрогеологических исследований на полигоне г. Анжеро-Судженска, а также основные результаты многолетних наблюдений в период затопления шахт, которые позволили изучить закономерности развития гидрогеомеханических процессов в техногенно-нарушенных массивах шахтных полей, определяющих величину, направленность и характер распределения деформации на земной поверхности.

Ключевые слова: затопление шахт, гидрогеомеханические процессы, мониторинг, деформации земной поверхности.

THE MONITORING OF GIDROGEOMEHANICAL PROCESSES DURING THE FLOODING OF ANGERO-SUDGENSK MINES

Let us consider a system of the organization of surveying and hydro-geological researches on the Anzhero Sudzhensk providing ground, and also the main results of long-term supervision in flooding of mines which allowed to study regularities of development of hydrogeomechanical processes in the technogenic broken massifs of the mine fields defining size, an orientation and nature of strain distribution of deformation above ground.

Key words: the flooding of mines, gidrogeomehanical processes, monitoring, deformation of the earth's surface

В комплексе научно-исследовательских задач по прогнозированию последствий затопления шахт и карьеров важное практическое значение имеет разработка методики прогноза деформаций земной поверхности, вызванных изменением напряженно-деформированного состояния техногенно-нарушенных породных массивов при восстановлении гидродинамического режима подземных вод. Получение предварительных оценок деформаций земной поверхности позволяет своевременно решить вопрос о необходимости принятия мер по обеспечению сохранности наземных и подземных сооружений инфраструктуры населенных пунктов, на территории которых находятся закрываемые предприятия.

Несмотря на имеющийся опыт ведения мониторинга при затоплении горных выработок у нас в стране и за рубежом, а также наличие современных программных комплексов численного моделирования геофильтрационных и геомеханических процессов в неоднородной геологической среде, вопрос о возможности прогнозирования деформаций земной поверхности остается открытым до сих пор. В этой связи весьма интересными для широкого круга специалистов могут быть результаты гидрогеомеханического

мониторинга, выполнявшегося сотрудниками ВНИМИ в течение 6 лет на опытном полигоне при затоплении шахт Анжеро-Судженска. Исследования включали комплекс режимных маркшейдерских, геофизических и гидрогеологических работ. Полученный при этом фактический материал представляет собой результат трудоемких и дорогостоящих натурных исследований, позволяющих проследить динамику совместно протекающих геомеханических и геофильтрационных процессов в масштабах шахтных полей.

Анжеро-Судженское каменноугольное месторождение расположено на северной окраине Кузбасса. В геолого-структурном отношении район представляет крупную синклинальную складку, образовавшуюся в результате надвигания девонских известняков со стороны Колывань-Томской складчатой зоны на терригенные отложения каменноугольной системы. Анжерская синклиналь осложнена дополнительной складчатостью и множеством разрывов – от небольших трещин до разрывных нарушений регионального значения, среди которых самым крупным является Томский надвиг.

Освоение месторождения было начато в 1890-1892 гг. и закончено в 1995-1997 гг. Более чем за столетний период добыто порядка 150 млн т угля. На момент закрытия шахтами подработано 1740 га поверхности, из которых примерно 40 % приходится на жилой сектор. Максимальная глубина отработки пластов на шахте «Анжерская» составляет 820 м от поверхности, на шахте «Судженская» – 630 м. На начало затопления уровни подземных вод в шхахте «Анжерская» находились на глубине 760 м от поверхности, а на шахте «Судженская» – на глубине 590 м.

Для выявления общих закономерностей техногенного режима подземных вод при затоплении шахт в начале 2000 г. были организованы режимные гидрогеологические исследования. При этом уровень воды в шахте «Анжерская» находился на глубине 180 м от поверхности, в шахте «Судженская» – 340 м. На декабрь 2005 г. (окончание мониторинга) уровни воды в шахтах почти достигли земной поверхности. Сеть гидрогеологического мониторинга включала 9 глубоких скважин, оборудованных датчиками гидростатического давления, и 17 пар мелких открытых пьезометров для наблюдений за уровнями четвертичного водоносного комплекса (рис.1, 2).

Порядок размещения глубоких скважин позволил получить информацию о поведении уровней подземных вод в различных зонах подработанного массива. Скважины 2Д, 8Д, 10Д расположены в полосе интенсивной подработки при выемке свиты пластов на небольшой глубине («на выходах пластов»). По всем датчикам, расположенным в этих скважинах, вначале наблюдений регистрировались нулевые напоры. Очевидно, что все они попали в осушенный техногенный горизонт. После того как уровень затопления шахт достигал отметки установки датчика, регистрировался рост напоров, практически синхронный росту уровней подземных вод, отмеченному по шахтным стволам.

Скважины 4Д, 11Д и 6Д расположены в полосе менее интенсивной подработки поверхности. Нижние датчики в этих скважинах установлены непосредственно в техногенном водоносном горизонте, изменение напоров подземных вод по ним аналогично рассмотренному выше. Вторая группа датчиков располагалась в налегающей толще, напоры здесь на начало затопления были значительно снижены относительно естественных. Третья группа датчиков приурочена к верхней части разреза, где фиксировались напоры, близкие к естественным. Скважины 1Д, 3Д и 7Д располагались в зоне плавных деформаций с режимом подземных вод, определяемым перетеканием через относительный водоупор, отделяющий водоносный комплекс покровных отложений от шахтного водоносного горизонта. Нижние датчики здесь также находились в зоне влияния техногенного комплекса и фиксировали сниженные относительно естественных напоры, по верхним датчикам – уровни подземных вод были близки к земной поверхности.

Результаты гидрогеологического мониторинга свидетельствуют о том, что в период

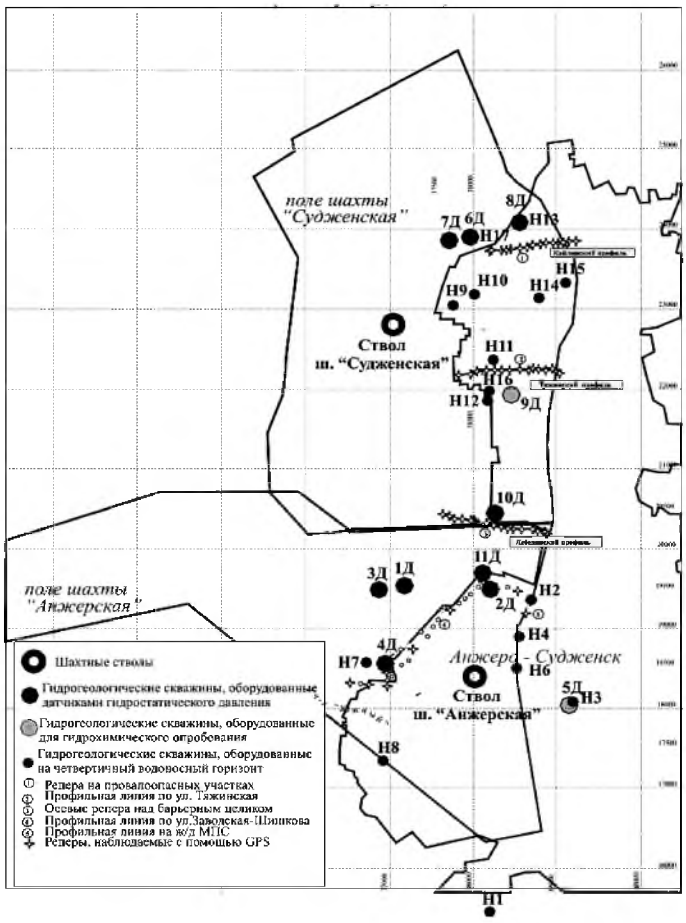


Рис.1. Схема расположения пунктов гидрогеологического мониторинга на полигоне г.Анжеро-Судженска

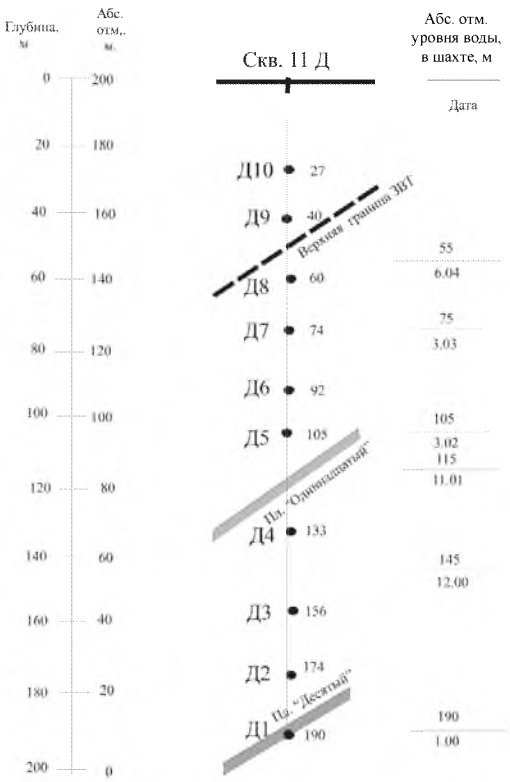


Рис.2. Схема расположения датчиков гидростатического давления в скв.11Д

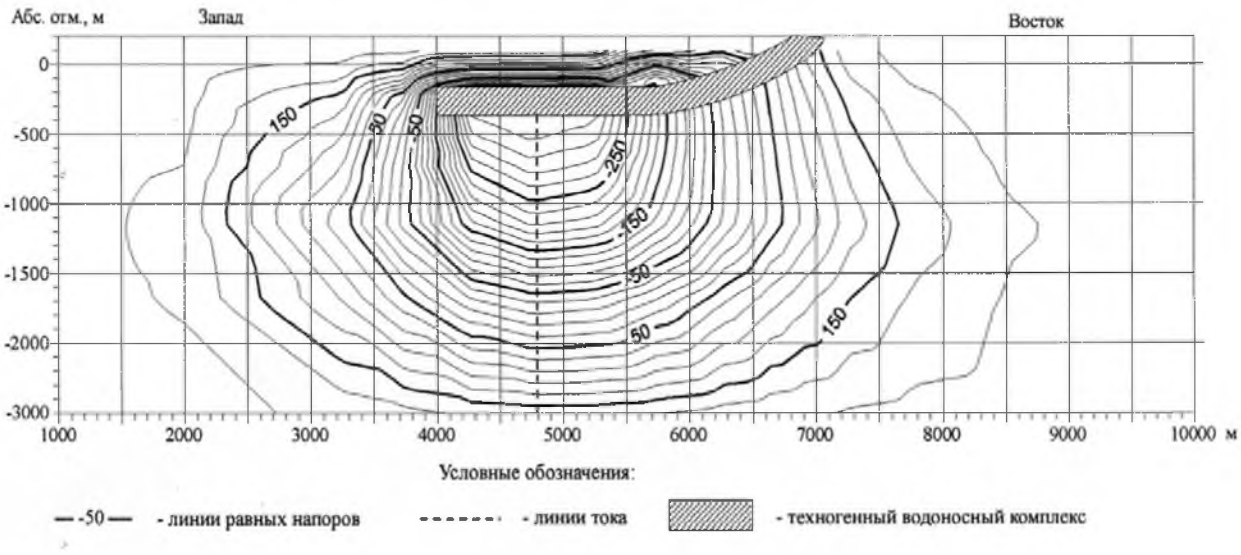


Рис.3. Распределение напоров в углевмещающей толще в пределах шахтной депрессии вокруг техногенного водоносного горизонта на начало затопления шахт

эксплуатации месторождения основные статические запасы подземных вод карбоновой толщи в пределах шахтной депрессии были сдренированы. На обоих шахтных полях в пределах контура отработки запасов сформировался техногенный комплекс трещиноватых пород мощностью примерно 200 м, который является крупномасштабной дреной (рис.3). Поскольку при закрытии шахт капитальные выработки не были ликвидированы, этот комплекс, несмотря на постепенное сокращение пустотности выработанного пространства, еще длительное время будет характеризоваться высокой проводимостью. Четвертичный водоносный комплекс нигде не сдренирован. Формирование водопритоков в систему подземных горных выработок и техногенный водоносный горизонт происходит как на выходах зоны водопроводящих трещин под четвертичные отложения, так и в результате перетекания по всей площади шахтного поля.

Деформационный мониторинг осуществлялся посредством комплексных маркшейдерско-геодезических наблюдений с использованием современных возможностей наземной и космической геодезии. Конструктивно система мониторинга объединяла площадную сеть GPS-трилатерации, три локальных сети микротриангуляции и полигонометрии и четыре профильных линии грунтовых реперов «Кайлинская», «Тяжинская», «Лебедянская» и «Заводская»; последние контролировали подработанную территорию в пределах плотной жилой застройки.

Комплексные геодезические и гидрогеологические наблюдения показали, что под влиянием затопления шахт происходит развитие неравномерных воздымающих движений земной поверхности, достигающих максимума на центральных участках мульд сдвижения. Вертикальные поднятия на этих участках за период наблюдений (5 лет) составили 100-200 мм, характеризовались резкими пиковыми значениями, представляющими опасность для находящихся здесь зданий и сооружений. При монотонном повышении уровней подземных вод развитие деформаций на поверхности происходило в виде чередования поднятий и оседаний. Результаты наблюдений по профильным линиям реперных станций большой протяженности, пролегающим по участкам территории с различными горно-геологическими условиями, позволили выявить закономерную плановую зональность в развитии движений земной поверхности. Выделены зоны: 1 – повышенной ритмичности проявления во времени знакопеременных форм деформаций с преобладанием оседаний; 2 – умеренной ритмичности с тенденцией к вздыманию поверхности; 3 – монотонного поднятия. Первая зона приурочена к выходам отработанных пластов под толщу четвертичных отложений; вторая и третья – сменяют друг друга по мере погружения пластов под налегающую толщу.

Горизонтальные перемещения реперов в несколько раз превышают вертикальные смещения, сильно отличаются между собой по величине (в 5-8 раз) в пределах участков со схожим строением подработанного массива, имеют характер развития во времени, не согласующийся с условиями затопления шахт. Например, на линии «Тяжинская» в начальный период (до 2003 г.) фиксировалось непрерывное смещение реперов в направлении с запада на восток на величину около 500 мм, а затем (2003-2005 гг.) – в противоположном направлении на величину 650 мм, что может быть объяснено только проявлением переменных тектогенных напряжений в массиве.

Наблюдаемое деформирование земной поверхности может быть вызвано влиянием двух основных факторов: развитием гидрогеомеханических процессов и действием тектонических сил со стороны Томского надвига. Учитывая, что вертикальные смещения хорошо согласуются с режимом подъема уровней воды в шахтах, природными горно-геологическими условиями и техногенной структурой подработанного массива, то их происхождение, скорее всего, связано с развитием гидрогеомеханических процессов. Горизонтальные смещения не вписываются в эти закономерности, и вероятнее всего обусловлены действием переменных тектогенных сил. Из двух факторов – инициаторов экзогенных процессов, количественному учету поддается только один –

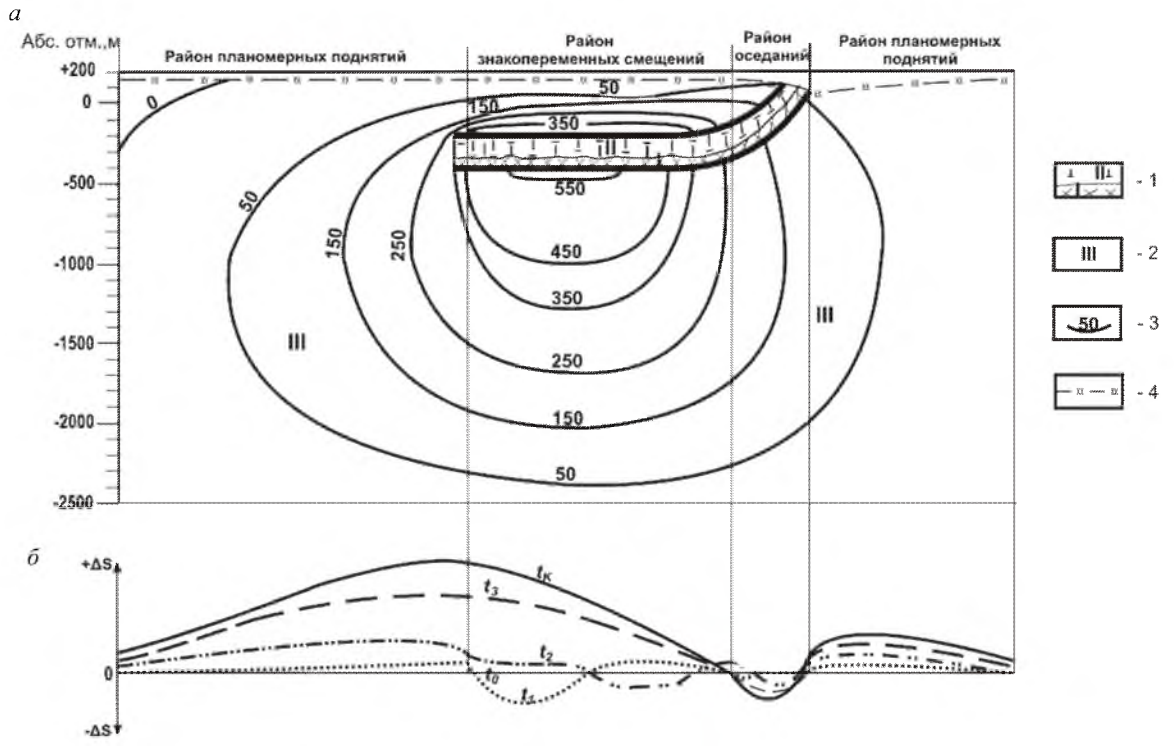


Рис.4. Принципиальная расчетная схема к прогнозу деформаций земной поверхности при затоплении шахт (*а*) и распределение вертикальных смещений ΔS земной поверхности на различные моменты времени от начала затопления t_0 до полного восстановления напоров подземных вод $t_к$ (*б*)

1– техногенный комплекс, осушенный в эксплуатационный период; 2 – вмещающий комплекс со сниженными напорами подземных вод; 3 – изолинии понижений напоров подземных вод ΔH (м) относительно естественных уровней на начало затопления; 4 – уровень приповерхностного водоносного горизонта

гидрогеомеханические процессы. Функционирование тектонических структур (активизация и спад активности) происходит под влиянием внутренних энергетических резервов, векторная сила и время реализации которых не связаны с техногенной деятельностью. Поэтому прогнозирование деформаций земной поверхности при затоплении горных выработок сводится к решению гидрогеомеханических задач, полагая, что на их результаты может накладываться действие других факторов, не поддающихся математическому анализу.

Физическую модель развития гидрогеомеханических процессов в техногенно-нарушенных массивах шахтных полей, в рамках которой находят отражение выявленные объективные факты, можно сформулировать следующим образом. В ходе эксплуатации месторождения в недрах углевмещающей толщи образовалась обширная область со сниженными напорами подземных вод – шахтная депрессия. После закрытия предприятия и прекращения водоотлива происходит естественное затопление выработанного пространства, сокращение депрессии, сопровождающееся постепенным ростом гидростатического давления воды в сдренированных слоях и их декомпрессионным расширением, что на земной поверхности проявляется в виде вертикальных поднятий. Вместе с тем, обводнение осушенных трещиноватых породных слоев предопределяет возможность их размягчения, проявляющегося на земной поверхности в развитии деформаций оседания. Оба процесса – декомпрессионное расширение и дополнительное уплотнение пород – могут протекать в массиве одновременно, конкурируя между собой на земной поверхности, интегрально вызывая либо поднятия, либо оседания.

Инженерно-геологический анализ природно-техногенной структуры подземного пространства, характерной для угольных месторождений, разрабатываемых подзем-

ным способом, позволяет выделить основные факторы, определяющие условия развития гидрогеомеханических процессов при затоплении шахт и закономерности проявления деформационных процессов на земной поверхности (зональность, величину, скорость и направленность смещений, чередование по времени оседаний и поднятий). К их числу относятся: естественная и техногенная структурно-механическая неоднородность углевмещающей толщи; размеры и пространственное расположение техногенного комплекса; размеры области депрессионного водопонижения и распределение в ней напоров на конец эксплуатации шахт; интенсивность восстановления уровней подземных вод в период затопления.

Принципиальная гидрогеомеханическая схема, составленная с учетом этих факторов, для условий подземной разработки свиты пластов наклонного залегания, приведена на рис.4. Методический подход к прогнозированию гидрогеомеханических процессов при затоплении горных выработок в рамках данной схемы состоит в выполнении последовательных геофильтрационных и геомеханических построений по схеме: прогноз восстановления напоров подземных вод в области депрессионного водопонижения → перерасчет полей геомеханических напряжений с учетом изменившихся гидростатических давлений → оценка величин и направленности деформаций на базе соответствующих физических уравнений, функционально увязывающих напряжения и деформации.

Реализация данного методического подхода осуществлялась нами с использованием программы численного моделирования гидрогеомеханических процессов на базе МКЭ при совместном рассмотрении трансформации геофильтрационных и геомеханических полей.* Сопоставление результатов прогноза для условий Анжеро-Судженского полигона, сделанных наперед – за 5 лет до завершения затопления шахт, с фактически зарегистрированными на этот момент времени напорами и деформациями земной поверхности, показало удовлетворительную сходимость в основной части расчетной области, для которой на стадии решения эпигнозной задачи выполнялся подбор деформационных и фильтрационных параметров по данным мониторинга.

* *Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Подольский В.А.* Прогноз гидрогеомеханических процессов в прибортовом массиве при затоплении карьера // ГИАБ, 2004. № 5 С.65-73.

Kutepov Y.I., Kutepova N.A., Podolsky V.A. The prediction of gidrogeomehanical processes in rock mass during the flooding of a open mine // GIAB, 2004. N 5. P.65-73.