

Ю. Н. ГАВРИЛЕНКО, доктор техн. наук,
К. В. КОВАЛЕВ, инж.
(ДонНТУ)

В. Н. ЕРМАКОВ, канд. техн. наук
(Министерство охраны окружающей
природной среды Украины)

А. В. ШИПТЕНКО, инж.
(УкрНИМИ НАН Украины)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ ВЫРАБОТОК ЛИКВИДИРОВАННЫХ ШАХТ СТАХАНОВСКОГО РЕГИОНА

В процессе реструктуризации угольной промышленности в Стахановском регионе, начиная с 1996 г., закрыто более 10 шахт. Они отрабатывали запасы угля в сложных горно-геологических условиях, отличающихся складчатым залеганием пород и наличием большого количества дизъюнктивных тектонических нарушений. Как показали многолетние инструментальные наблюдения, сдвигения горных пород и земной поверхности происходили неравномерно с образованием трещин и уступов.

Характер деформирования земной поверхности при затоплении выработок до настоящего времени практически не изучен, однако можно предположить, что должен зависеть от следующих факторов: мощности

отработанных пластов угля, угла падения и глубины расположения выработок; размеров очистных выработок; местонахождения и размеров оставленных целиков; физико-механических свойств пород; структурных особенностей горного массива (наличие мощных крепких слоев пород, складок, геологических нарушений и др.); давности отработки лав и многократности их подработки.

Недостаточная изученность процессов активизации сдвижений, сложные горно-геологические условия региона и одновременное закрытие большого количества шахт вызвали необходимость проведения геомеханического мониторинга, основу которого составляют маркшейдерские наблюдения за деформациями земной

поверхности. Главные задачи маркшейдерских наблюдений:

- получение экспериментальных данных о наличии или отсутствии сдвижений земной поверхности при затоплении соседних шахт;
- установление зависимостей оседаний земной поверхности, вызванных активизацией сдвижения при затоплении шахт, от уровней затопления, глубины и давности отработки очистных выработок, угла падения слоев пород, наличия разрывных тектонических нарушений, рельефа местности, сосредоточенных деформаций поверхности (уступов), которые образовались при подработке территорий.

Для исследования были выбраны поля шахт им. Ильича, им. Чеснокова, “Центральная-Ирмино”, “Брянковская” и “Замковская”. Основная проблема при организации наблюдений состояла в большой площади участка, трудности в прогнозировании времени и мест сдвижений активизации. Поэтому необходимо было охватить всю территорию закрытых шахт при оптимальных затратах на выполнение мониторинга. Принят следующий принцип построения наблюдательной сети в Стахановском регионе:

во-первых, закладка основных профильных линий длиной 2—6 км с относительно большими расстояниями (порядка 100 м). Эти линии пересекают основные структуры шахтных полей, поселков и микрорайонов. На них выполняют только высотные измерения по методике нивелирования III класса;

во-вторых, закладка локальных профильных линий, которые размещают в тех местах, где в период отработки зафиксированы значительные сосредоточенные сдвиги и деформации (как правило, в виде уступов). Интервал закладки реперов на этих линиях 5—10 м. Здесь проводят полный комплекс наблюдений, т. е. высотные и линейные измерения;

в-третьих, создание наблюдательной сети с использованием методов спутниковой навигации (измерения GPS-приемниками), такая сеть объединяет в единую систему основные и локальные линии. Кроме того, сеть дает возможность определения плановых смещений пунктов, входящих в ее состав.

Преобладающие требования при выборе места заложения профильных линий наблюдательных станций: возможность подъезда, видимость между реперами, условия долговременной сохранности реперов, наличие в непосредственной близости гидронаблюдательных скважин, позволяющих следить за уровнем затопления выработок на момент наблюдений. Профильные линии были ориентированы примерно перпендикулярно к простиранию пластов и перекрывали практически всю мульду сдвижения от отработанных запасов.

В апреле — мае 2001 г. на полях затопляемых шахт были заложены основные и локальные профильные линии (рис. 1). Суммарная протяженность одиннадцати основных линий превышает 33 км, а число реперов на них — 352. Семь локальных линий содержат более 110 реперов суммарной длиной более 700 м. Они расположены на образовавшихся при подработке уступах. Общая площадь территории, охваченной наблюдениями, около 150 км².

Учитывая большую площадь территории, на которой проводились исследования, их краткие сроки, а также высокие требования к точности наблюдений, применение только традиционных методов измерений не позволило полностью решить задачи мониторинга. Поэтому в целях определения плановых смещений и создания единой системы высот для всех профильных линий применили технологию с использованием спутниковых радионавигационных систем.

Наблюдательная сеть с помощью спутниковых систем разделена на две части: жесткая каркасная сеть, связывающая поля всех шахт, — первичная основа единой системы, в которой определяют как плановые, так и высотные смещения; сеть полярных (лучевых) измерений, в которой относительно исходного пункта находят положения, как минимум, двух реперов на каждой профильной линии.

В ходе наблюдений измеряли векторы длинами 3—11 км. Время наблюдений на пунктах сети мобильного приемника 20—40 мин. Принимали сигналы четырех — восьми спутников с углом места более 15°, при этом интервал записи информации и сырых данных в файл составлял 1 с. На всех пунктах зафиксированы естественные помехи. Точность спутниковых измерений оценивали несколькими способами. Для доказательства стабильности результатов с интервалом около 40 дней повторно измеряли четыре вектора каркас-

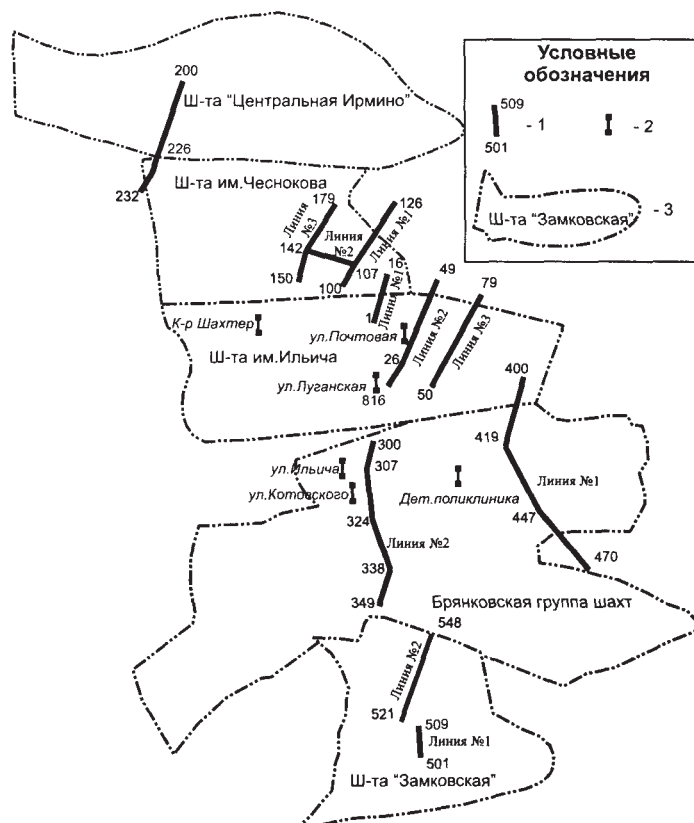


Рис. 1. Схема расположения профильных линий: 1 — основные с номерами реперов; 2 — локальные; 3 — границы шахтных полей.

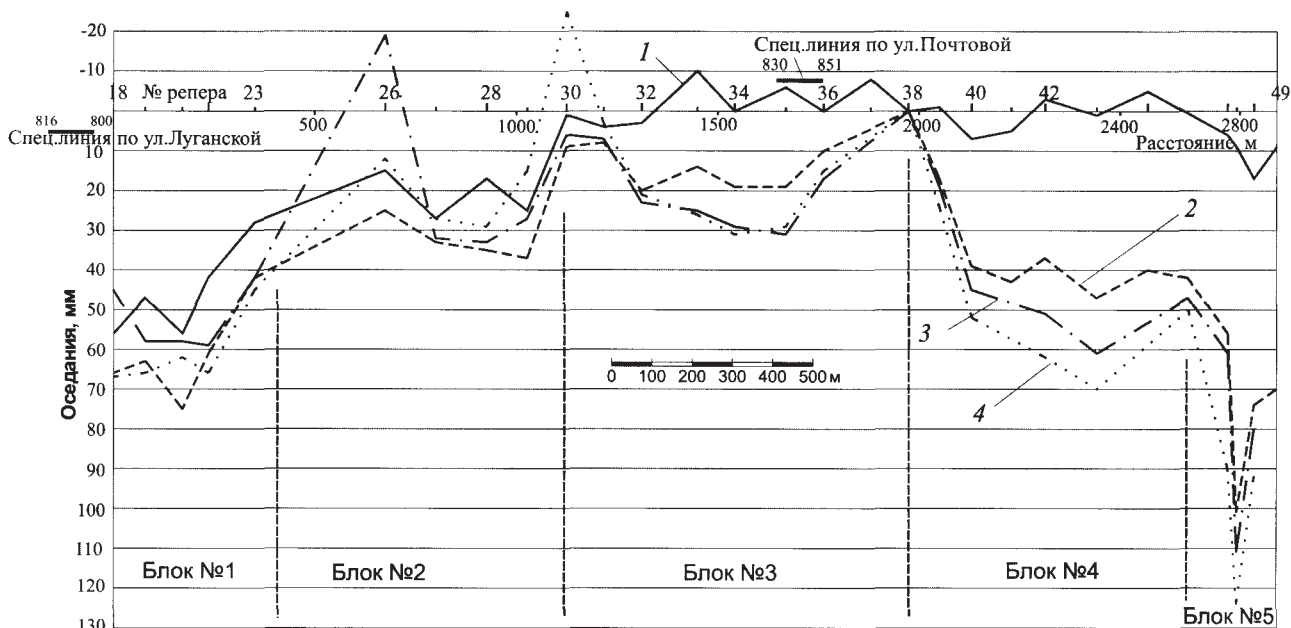


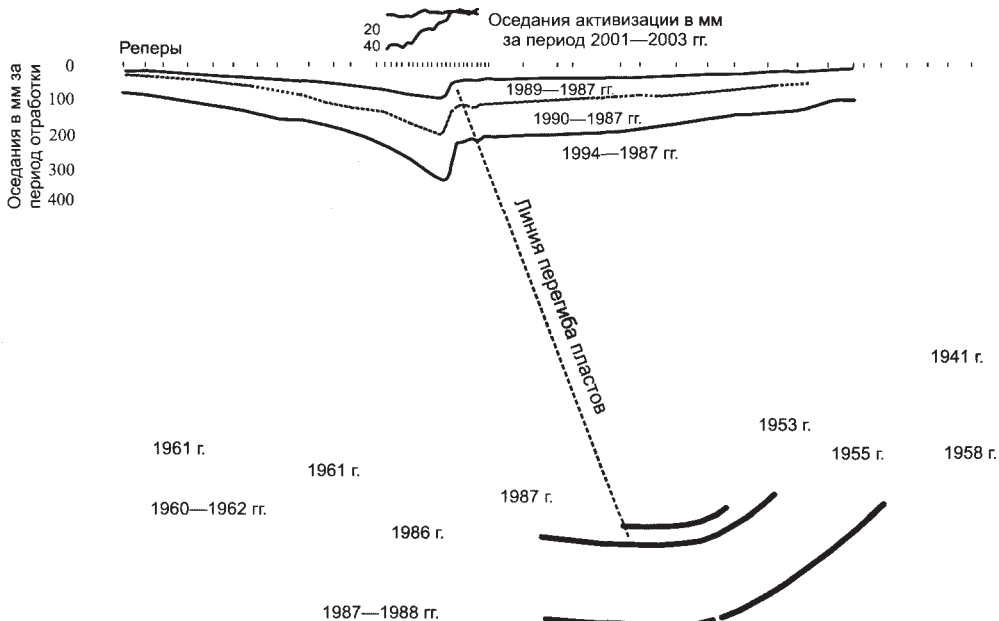
Рис. 2. Графики оседаний на профильной линии № 2 на поле шахты им. Ильича за период с мая 2001 г. по ноябрь 2001 г. (кривая 1), август 2002 г. (кривая 2), декабрь 2002 г. (кривая 3), май 2003 г. (кривая 4).

ной сети. Анализ показывал, что данные наблюдений достаточно стабильные и точные. Относительные разности длин векторов не превышали 1 : 100 000, а составляющие векторов по координатным осям получились еще точнее. Уравнивание каркасной сети параметрическим способом по всем трем составляющим свидетельствовало, что точность их определения от 3 до 7 мм на 1 км вектора.

Таким образом, в результате выполненных измерений в Стахановском регионе создана единая плано-высотная сеть,

позволяющая устанавливать смещения во всех направлениях и значительно повысить точность и надежность маркшейдерского мониторинга.

В мае 2001 г. на всех профильных линиях Стахановского региона провели начальную (первую) серию наблюдений, вторую — в октябре — декабре 2001 г., третью — в августе 2002 г., четвертую — в декабре 2002 г. — январе 2003 г. и пятую — в мае 2003 г. К сожалению, маркшейдерские наблюдения, составляющие основу геомеханического мониторинга, начали, когда шахты были практически затоплены. Рассмотрим основные результаты наблюдений, полученные за два года мониторинга.



решения, начали, когда шахты были практически затоплены. Рассмотрим основные результаты наблюдений, полученные за два года мониторинга.

На поле шахты им. Ильича заложены три основные, примерно параллельные профильные линии, расстояния между которыми от 1 до 1,5 км.

Рис. 3. Развитие уступа по ул. Почтовой при ведении горных работ и при активизации процессов в период затопления на поле шахты им. Ильича.

Общий характер деформирования, определяемый в течение первого года наблюдений, остался практически неизменным. На всех линиях картины оседаний достаточно похожи, хотя на профильной линии № 2 процессы сдвижения проявляются наиболее ярко. Здесь по характеру деформирования на линии можно выделить пять отдельных участков (блоков).

В блоке № 1 (рис. 2) основные оседания реализовались в 2001 г., а в последующем прирост не превышал 10—15 мм. Максимальные оседания за весь период наблюдений составили 75 мм. К данному блоку относится локальная линия по ул. Луганской, где в период активного ведения горных работ образовался уступ высотой более 50 см. К замку Ильичевской антиклинали приурочен блок № 2, где основная часть оседаний также зафиксирована в 2001 г., но максимальные в 2 раза меньше, чем в блоке № 1, и не превышают 40 мм. Блок № 3 расположен между выходами пласта l_8 в ядре синклинали. Большая часть оседаний (20 мм) реализована в первой половине 2002 г., а дальнейший прирост — около 10 мм. Таким образом, максимальные оседания составили около 30 мм. Вместе с тем на этом участке продолжал развиваться уступ по ул. Почтовой, который достиг высоты 5 см. Для блока № 4 характерны примерно одинаковые оседания, которые составили 50—70 мм. В геологическом отношении данный блок расположен над выходами пластов северного крутого крыла Ильичевской синклинали. Блок № 5 имеет наибольшие оседания, которые достигают 120 мм, большая часть их произошла в первой половине 2002 г.

Особого внимания заслуживают результаты наблюдений на локальной профильной линии по ул. Почтовой. Она заложена на участке, где в период активной подработки инструментальными наблюдениями зафиксирован уступ, вызвавший повреждения зданий и сооружений. В 2001 г. на этой линии, несмотря на то что оседания не превышали 10 мм, было четко зафиксировано два участка: опущенный и приподнятый (рис. 3). К августу 2002 г. уступ вырос до 4—5 см. В дальнейшем его рост прекратился. Максимальные деформации, относящиеся к 5-метровым интервалам, составили: наклоны — 2,8 мм/м; горизонтальные деформации — 3,4 мм/м; радиус кривизны — 1,4 км.

Такой характер деформирования соответствует развитию уступа от работ в пологой части синклинали складки. Это было зафиксировано инструментальными наблюдениями в период активного ведения горных работ с 1987 по 1994 г. На участок наблюдательной станции оказывали влияние горные работы в пологом крыле синклинали складки. Они велись на пластах k_3^u , k_5 , k_6 на глубинах 560—640 м. Зафиксирован уступ высотой около 20 см, обращенный в сторону пологого крыла. Горизонтальные деформации достигли 5,6 мм/м; наклоны 2,4 мм/м; радиус кривизны — 0,9 км. Оседания до 300—350 мм были отмечены с обеих сторон от трассы уступа.

На территории шахты “Центральная-Ирмино” заложена одна профильная линия, ориентированная вкрест простирания свиты крутопадающих пластов. На ней зафиксирован достаточно сложный характер сдвижения (рис. 4). За время наблюдений в 2001 г. получены относительно равномерные оседания в диапазоне 30—50 мм практически по всей профильной линии. На общем фоне выделяются блоки с самостоятельным деформированием. Первый такой участок приурочен к лежащему боку свиты и заканчивается у выхода I Ирминского надвига. Участок от репера 206 до 215 (над выходами отработанных пластов) характеризуется примерно одинаковыми оседаниями, что может быть вызвано как смещением по нарушениям, так и активизацией пород над очистными выработками. В районе реперов 217—218 фиксируется неравномерность, связанная с Главным Ирминским надвигом. Далее в безугольной толще (полумульда по падению) оседания уменьшаются. Именно на этом участке в первой половине 2002 г. они достигали 40 мм. Остальная часть линии остается в этот период относительно устойчивой, в результате чего выравниваются оседания по линии.

В дальнейшем продолжают более интенсивные оседания в основном южного крыла линии за Главным Ирминским надвигом и достигают 80—100 мм. Горизонтальное смещение репера 232, определенное из спутниковых измерений, составило 250 мм, оно направлено к северу. Таким образом, вектор смещения имеет угол наклона около 30°, т. е. направлен примерно по нормали к напластованию. Это свидетельствует о том, что за счет ликвидации зависаний активизируются сдви-

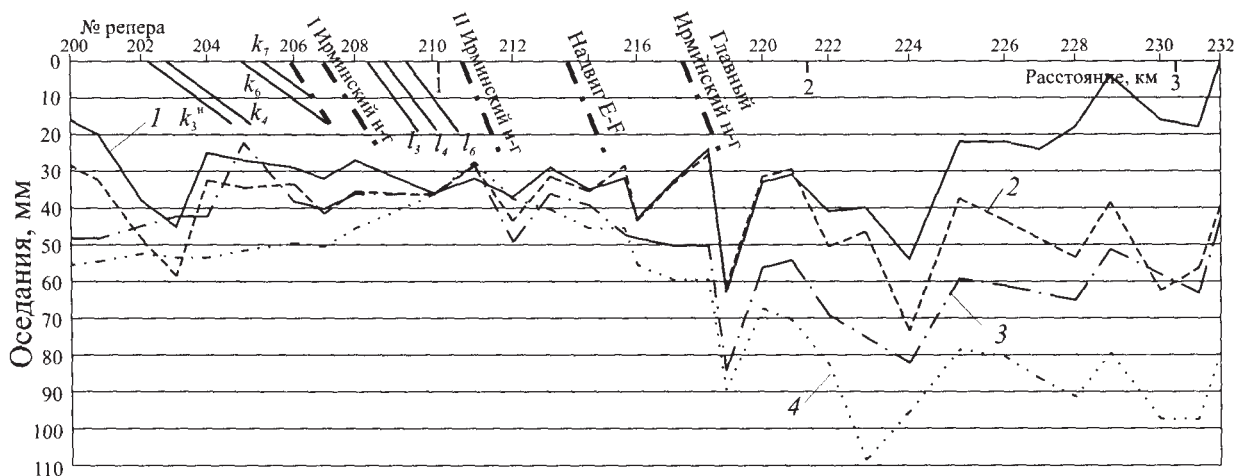


Рис. 4. Графики оседаний на поле шахты “Центральная-Ирмино” за период с мая 2001 г. по октябрь 2001 г. (кривая 1), по август 2002 г. (2), по декабрь 2002 г. (3) и по май 2003 г. (4).

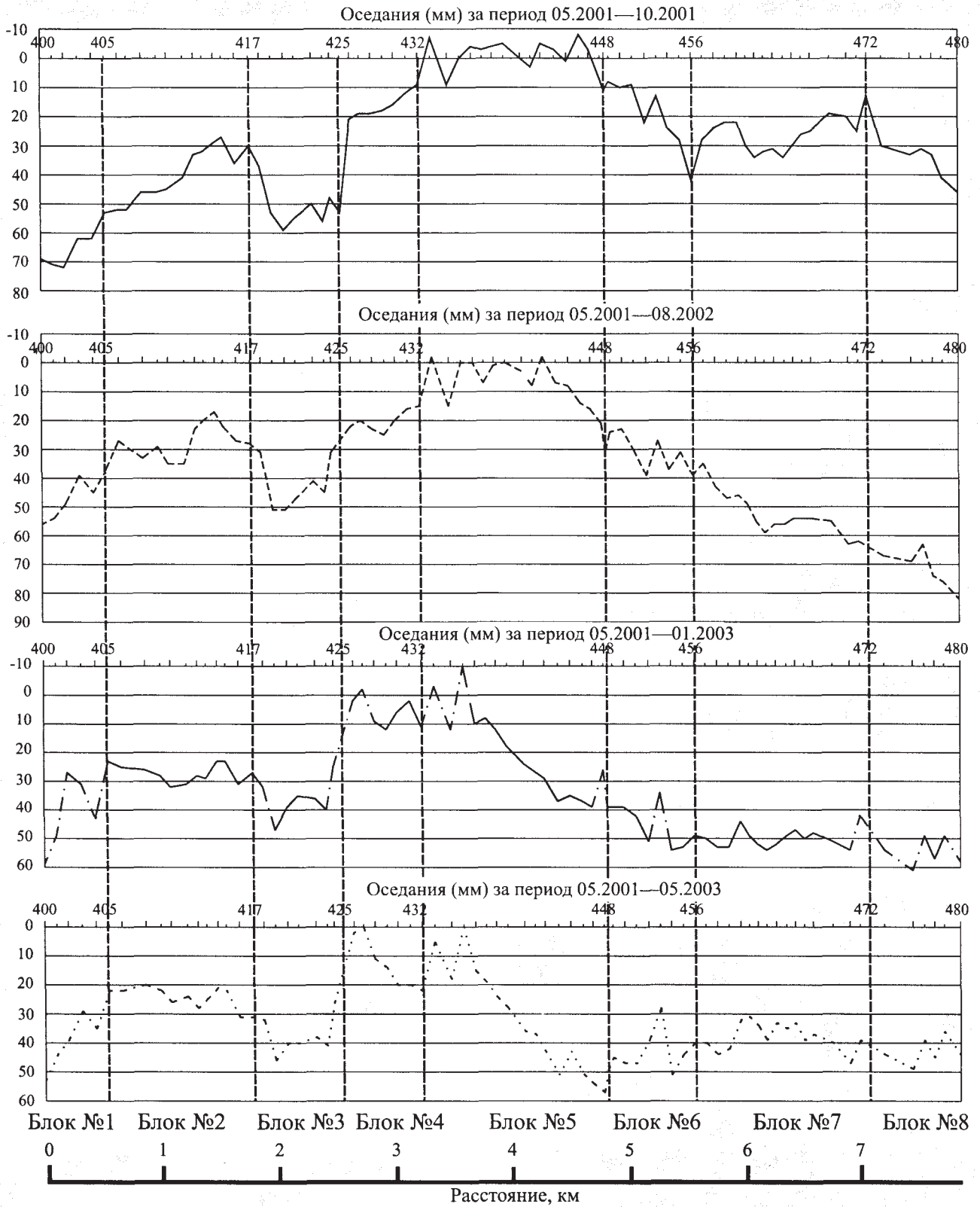


Рис. 5. График оседаний по профильной линии № 1 Брянковской группы шахт.

жения. Однако отмечены сдвигения по напластованиям отработанных пластов и по тектоническим зонам.

На шахте “Замковская” заложены две профильные линии: первая — в районе промплощадки шахты, а вторая — примерно параллельно руслу р. Лозовая. На профильной линии № 1 протяженностью более 800 м вертикальные смещения небольшие, но стабильно и закономерно возрастают. В целом за два года наблюдений неравномерность оседаний в пределах профильной линии можно оценить в 30 мм. На линии № 2 картина оседаний более сложная и в некоторых деталях трудно объяснимая. Оседания в различных наблюдениях колеблются в диапазоне ± 80 мм. Учитывая, что большая часть линии расположена у реки, можно предположить, что здесь фиксируется сезонное колебание влагонасыщенных грунтов в разное время года.

На шахте им. Чеснокова заложены три профильные линии, две из которых (№ 1 и 3) параллельны одна другой и расположены на расстоянии около 1200 м, профильная линия № 2 соединяет их. Интересно, что по результатам GPS-измерений все реперы этих линий, включенные в спутниковую сеть, получили поднятия относительного базового пункта. На линиях № 1 и 3 максимальная неравномерность оседания составляет 30—40 мм. Наблюдения на линии № 2 показывают постепенное увеличение оседаний до 50 мм на участке протяженностью 1300 м в сторону выходов отработанных угольных пластов.

На территории шахт “Брянковская”, “Криворожская” и им. Дзержинского заложены две основные и три локальные профильные линии. Из детального анализа оседаний на линии № 1 выделены блоки, отличающиеся различным характером деформирования (рис. 5).

Блок № 1 расположен над выходами пластов k_3 и k_6 , надвигов А—Б и Ильичевского, характеризуется постоянным увеличением разности оседаний на краях, а следовательно, увеличением наклона. Блок № 2 приурочен к синклинали, ограниченной выходом пласта l_3 . Здесь отмечается противоположная тенденция, т. е. наклон блока в 2001 г. имел максимальную величину, затем блок постепенно выравнивается и получает наклон противоположного знака.

Блок № 3 приурочен к замку антиклинальной складки над выходом пласта k_6 . Он более интенсивно осевший с неизменным характером в течение всего периода наблюдений. Локальные оседания данного блока по отношению к соседним составляют 40—60 мм. Деформирование блока № 4, расположенного над синклиналию, ограниченной выходами пластов l_2^1 и l_3 , подобно деформированию блока № 2.

Блок № 5 наиболее изменчивый. Большая часть данного участка линии ориентирована по простиранию пластов между выходами надвигов I Брянского и В—С. Его характерная особенность, с одной стороны, постепенное вовлечение пород в процесс деформирования, а с другой, рост вертикальных смещений. В 2001 г. этот блок являлся самым стабильным. К августу 2002 г. начинает опускаться участок от репера 442 до 448 и оседания достигают 30 мм. К концу 2002 г. оседания распространяются до репера 435 и составляют 50 мм. В последующем характер сдвижений сохранился, а значения оседаний увеличились до 60 мм.

Блок № 6 расположен над синклиналию, органиченной выходами пласта l_3 , и деформируется подобно блокам № 2 и 4. В блоке № 7 отмечается увеличение оседаний (до 65 мм) и изме-

нение общего наклона блока. Блок № 8 приурочен к выходам пластов k_7 , k_6 и k_5 , здесь максимальные оседания до 80 мм.

На основной профильной линии № 2 Брянковской группы шахт наиболее стабилен участок, приуроченный к пологой антиклинали. Над крутыми крыльями синклинали происходит постепенное увеличение оседаний — от 40 до 55 мм.

Выводы. Выполненная работа является новаторской не только в отечественной, но и в мировой практике. Впервые получены экспериментальные данные о деформировании земной поверхности при затоплении группы закрытых шахт.

На территории всех шахт происходят оседания земной поверхности, связанные с активизацией процессов при затоплении шахт, которые носят неравномерный характер, что выражается как во времени, так и в местах проявления. Оседания на основных профильных линиях свидетельствуют о сдвигениях массива и земной поверхности со скоростью 1—2 см/мес (см. таблицу), хотя в целом можно говорить об уменьшении скоростей смещения.

Шахты	Май — октябрь 2001 г.	Октябрь 2001 г. — август 2002 г.	Август 2002 г. — декабрь 2002 г.	Декабрь 2002 г. — май 2003 г.
“Брянковская”	80 16	36 4	37 9	25 5
“Замковская”	85 17	72 7	32 8	27 5
Им. Ильича	80 16	46 5	22 5	25 4
Им. Чеснокова	40 8	46 5	67 17	21 4
“Центральная-Ирмино”	60 12	45 5	26 6	39 8

Примечание. В числителе приведены оседания в мм, в знаменателе — скорость в мм/мес.

Сдвигение горных пород и земной поверхности происходит поблочно. При этом в различные периоды активны разные блоки. Увеличение оседаний наблюдается на участках с выходами крутых слоев пород на крыльях складок и на участках с выходами тектонических нарушений. Таким образом подтверждается вывод, что основными факторами, вызывающими активизацию процессов сдвижения, являются крутопадающие разрывные нарушения, крутые пласты и антиклинали.

Установить какую-либо определенную связь оседаний земной поверхности с уровнями затопления не удалось, так как за период проведения геомеханического мониторинга уровни подземных вод существенно не изменялись.

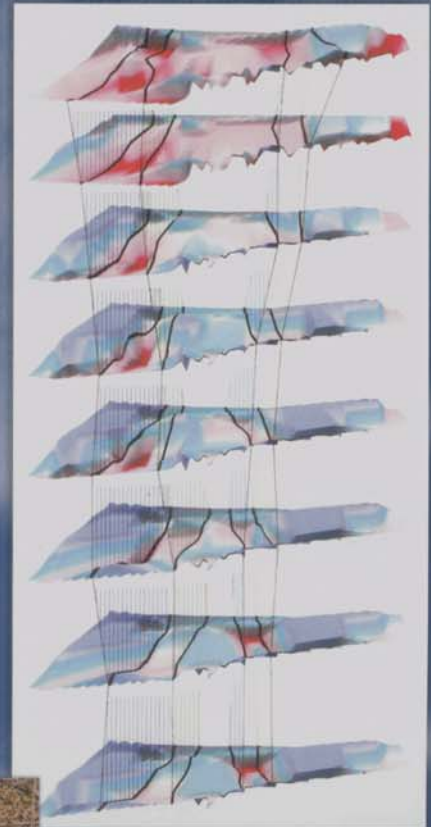
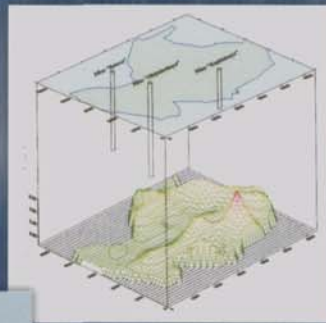
В местах, где в процессе ведения горных работ были зафиксированы сосредоточенные деформации в виде уступов, картины деформирования очень отличаются. Имеются участки, где проявлений уступов нет или они незначительны, на одном участке зафиксирован прирост высоты уступа до 5 см.

ISSN 0041-5804

ВІСЛЬ України



УкрНИМИ НАН УКРАЇНИ **75** ЛЕТ



9'2004